AS NOVAS POTENCIALIDADES DO BETÃO COMO MATERIAL ARQUITECTÓNICO

APLICAÇÃO A UM SISTEMA PREFABRICADO DE MOBILIÁRIO URBANO

CARLA CRISTINA DIAS INÁCIO

DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS | FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO | DEZEMBRO2005

DISSERTAÇÃO APRESENTADA À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, REALIZADA SOB ORIENTAÇÃO DO PROFESSOR JOSÉ MANUEL AMORIM FARIA, NO ÂMBITO DA 9ª EDIÇÃO DO CURSO DE MESTRADO EM «CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS» DA FEUP.

ÍNDICE GERAL

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Résumé	iv
Índice do Texto	v
Índice das Imagens	viii
Índice dos Quadros	xi
Capítulo 1 | Introdução	1
Capítulo 2 | O betão como material arquitectónico: Enquadramento Teórico	8
Capítulo 3 | As tecnologias de fabrico do betão arquitectónico	45
Capítulo 4 | Projecto do sistema de mobiliário urbano	94
Capítulo 5 | Avaliação e implementação do sistema	110
Capítulo 6 | Conclusões e desenvolvimentos futuros	127
Referências bibliográficas	130
Anexo I	140
Anexo II	142

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar manifesto o meu profundo agradecimento ao meu orientador Professor José Amorim Faria pelo seu constante empenho e preocupação ao longo de todo o trabalho. Agradeço o apoio e o incentivo demonstrado.

Agradeço à Engenheira Ângela Nunes, responsável do Laboratório da *SECIL,* pela disponibilidade e interesse demonstrados no apoio ao projecto, pelos artigos cedidos e pelo ensinamento sobre as técnicas de acabamentos. Todo o trabalho de experimentação não seria possível sem a sua ajuda.
Agradeço também ao Engenheiro Pedro Gago, do Laboratório da *SECIL*, pelo tempo dispendido no acompanhamento da experimentação efectuada.

Agradeço ao Engenheiro Sampaio da *PRÉGAIA* e, em especial, à D.Cândida, responsável pelo Laboratório, que se disponibilizou para apoiar o trabalho.

Agradeço ainda ao Professor Valter Lúcio pela acessoria prestada ao nível do projecto.

Agradeço ao Dr. Prazeres e ao Sr. António Serra, ambos do *ATIC*, por todo o apoio prestado ao nível bibliográfico.

Agradeço ao Professor Arquitecto Reaes Pinto pela informação cedida no âmbito da história da pré-fabricação.

Sobre a técnica de fotogravação em betão, agradeço a Mikael Göransson pelo tempo disponibilizado nos esclarecimentos e artigos fornecidos, e ao Engenheiro Pedro Pinto da empresa *GRACE/PIERI SA*.

Agradeço, igualmente, ao Arquitecto Victor Carvalho pelo apoio prestado na elaboração dos desenhos técnicos.

Por fim, agradeço a todos os que, de alguma forma, participaram na elaboração deste trabalho.

RESUMO

Nos últimos anos, tem-se assistido a um desenvolvimento acentuado de novos betões, resultante da investigação levada a cabo nas diversas áreas que integram o seu processo construtivo. As inovações introduzidas induziram, consequentemente, uma renovação das tecnologias de acabamentos de superfícies em betão.

Esses avanços tecnológicos que o material sofreu, obrigam também a reequacionar a definição de betão. Assim, à tradicional conotação de material de construção rude, deve agora contrapor-se a definição de processo construtivo moderno que alberga uma infinidade de possibilidades mecânicas e expressivas. A pré-fabricação é uma das vias onde o reconhecimento desta nova fase do material é mais evidente.

Neste contexto, as novas tecnologias de acabamentos, proporcionadas pelo emprego desses novos betões, aliadas a sistemas produtivos no âmbito da pré-fabricação, introduzem novas potencialidades na utilização do betão, permitindo obter níveis de qualidade que se coadunam com a utilização do material em novos usos.

O trabalho desenvolvido na presente tese teve como principal objectivo demonstrar a existência dessas novas capacidades do betão enquadrando-as, especialmente, na sua vertente expressiva. Para o efeito, foi concebido um projecto de um sistema prefabricado de mobiliário urbano como exemplo das novas apetências do betão.

O estudo das tecnologias de acabamento e dos sistemas de produção em betão que o trabalho pressupõe, assentou numa investigação teórica do tema e, sobretudo, num conhecimento prático adquirido junto de alguns laboratórios de empresas cimentícias e de prefabricação.

Os conhecimentos obtidos permitiram sistematizar alguns problemas comuns à produção dos diversos acabamentos dos betões, relacionando-se a composição do material com o aspecto final da superfície.

Desenvolveram-se, em particular, as técnicas actuais de transferência de imagens para a superfície do betão. Neste âmbito e com o intuito de testar a hipótese levantada pelo projecto desenvolvido – um módulo em betão serigrafado – foram realizadas amostras, onde é explorada a técnica de transferência de imagens na base da pintura plana.

Palavras-chave:

Betão arquitectónico; Acabamento de superfície; Pré-fabricação; Mobiliário urbano

ABSTRACT

In the last years there has been an accentuated development on new kinds of concrete, as a result of the different levels integrating its constructive process. The forthcoming innovations have led to a renewal of finished technologies of the concrete.

Those technological advances of the material have led also to put in a new equation the definition of the concrete. Thus, to the traditional rude connotation of the material there must raise in counterfeit a definition of a new constructive process that should look upon the infinity of mechanical as well as expressive possibilities. The pre-fabrication is one of the paths where the consideration of this new phase is most showing. In this context, the new technologies of renderings resultant of the new kinds of concrete, linked to the productive systems of pre-fabrication, give way to new potentialities in the use of concrete, giving way to quality levels equalizing new uses of the material.

The main objective of this thesis is the demonstration of the existence of these new capacities of concrete, as far as the expressive issue is concerned. For the sake of this aiming a project of pre-fabricated urban furniture was conceived as an example of the new concrete expressional *wishes*.

The study of the finished technologies and of concrete production that this thesis aims to, was based on my theoretical research as well as, and above all, on my practical knowledge through the work in some concrete ad pre-fabrication fabric laboratories.

The knowledge thus acquired has given way to systemizing some common problems on the renderings of concrete production, establishing the relation between concrete and its possible renderings.

The actual techniques of transferring images to the surface of concrete were developed.

Under this item of investigation, and aiming to test the proposed objective – a serigraphic concrete module - some samples were constructed to show the techniques of transferring images obtained from two dimensional drawings.

Key-words:
Architectonic concrete;
Surface finish; Pre-fabrication; Urban furniture

RÉSUMÉ

Au cours des derniers années on a pu voir le developement de nouvaux bétons, en résultat des investigations de diverses domaines du processus constructif. Les inovations intruduites ont conduit à une importante renovation des technologies de finition des surfaces de béton apparent.

Les transformations technologiques obligent aussi a repenser la propre definition du matériau. A la traditionelle assertion de materiau de construction rude, il faut maintenant opposer un nouveau concept de processus de batiment moderne qui possède une infinité de possibilités mécaniques aussi que expressives.

La pré-fabrication est une des voies où l'évidence de cette nouvelle vie du materiau la plus présente.

Dans ce contexte, les nouvelles technologies de finition, tant que les systèmes productifs de pré-fabrication apportent de nouvelles formes de utilisation du béton, permettant ainsi de obtenir des niveaux de qualité compatibles avec des nouveaux moyens d'utilisation du matériau.

L'étude ici présenté avait comme objectif principal de démontrer l'existence de ces nouvelles capacités du béton, en les encadrant spécialement dans sa qualité expressive. Pour ça on a conçu un projet de système préfabriqué de mobilier urbain comme exemple de nouvelle tendance d'utilisation du béton.

Les technologies de finition et les systèmes de production ont été étudiés suivant l'investigation théorique du thème et, surtout, testés par une pratique acquise dans des laboratoires de cimenteries ou des entreprises de pré-fabrication.

Les connaissances ainsi formées ont permit de systématiser quelques problèmes de production des diverses finition, faisant rapport entre la composition du matériau et l'aspect final de sa surface visible. On a développé en particulier les techniques actuelles de transfert d'images à la face exposée du béton.

Ainsi et pour tester l'hypothèse proposée par le projet – un module en béton sérigraphé – on a réalisé des échantillons où fut explorée la technique de transfert d'image a la base de peinture plate.

Mots- clés :

Béton architectonique; Finition de surface; Pré-fabrication; Mobilier urbain.

ÍNDICE DO TEXTO

CAPÍTULO 1 | Introdução **1**

1.1 Premissas 1
1.2 Tema 3
1.3 Objectivos da dissertação 3
1.4 Metodologia de abordagem 4
1.5 Estrutura da dissertação 5
1.6 Bases do trabalho desenvolvido 6

CAPÍTULO 2 | O betão como material arquitectónico: Enquadramento Teórico **8**

2.1 A origem e desenvolvimento do betão associado à pré-fabricação da construção 8
2.2 As primeiras manifestações do betão enquanto material arquitectónico 19
2.3 A situação portuguesa 26
2.4 Síntese das tecnologias de acabamento empregues até à década de 70 32
2.5 A situação actual: a aplicação na arquitectura – entre a arte e a tecnologia 40

CAPÍTULO 3 | As tecnologias de fabrico do betão arquitectónico **45**

3.1 As tecnologias de acabamentos 45
3.1.1 Considerações gerais 45
3.1.2 Técnicas correntes 47
3.1.2.1 A cor 48
3.1.2.2 A textura 54
3.1.3 As técnicas de transferência de imagens 57
3.1.3.1 As técnicas de gravura nas artes plásticas 58
3.1.3.2 A técnica de fotogravação em betão durante a moldagem 59
3.1.3.2.1 A execução da tela / do fotolito 59
3.1.3.2.2 Execução das *folhas de gravação* 61
3.1.3.2.3 Preparação do molde 61
3.1.3.2.4 A composição do betão 62
3.1.3.2.5 O processo de betonagem e desmoldagem 64
3.1.3.2.6 A lavagem e a protecção das superfícies 64
3.1.3.2.7 Problemas associados a esta técnica 64
3.1.3. 3 A técnica de fotogravação em betão após a sua cura 66
3.1.3. 4 Processo de transferência de imagens na base da pintura plana 66
3.1.3. 5 Processo de transferência de imagens através da configuração do molde 69
3.1.4 Quadro sinóptico para a obtenção dos principais 71

acabamentos
3.1.5 Os materiais constituintes do betão aparente 73
3.1.5.1 O cimento *Portland* 73
3.1.5.2 As adições 75
3.1.5.3 Os agregados 76
3.1.5.4 A água 76
3.1.5.5 Os adjuvantes 77
3.2 O Sistema Produtivo 79
3.2.1 A pré-fabricação 79
3.2.2 A industrialização 79
3.2.3 A Prefabricação e a realização *'in situ'* 82
3.2.4 As juntas em pré-fabricação 84
3.2.5 As tolerâncias dimensionais 87
3.2.6 A coordenação dimensional modular 88
3.2.7 O processo de fabricação 91
3.2.8 O transporte e a montagem 92

CAPÍTULO 4 | O Projecto do sistema de mobiliário urbano 94

4.1 Concepção do sistema 94
4.2 Elementos constituintes do sistema 95
4.2.1 O módulo 95
4.2.2 Sistema de encaixe entre os componentes principais 98
4.2.3 Outros componentes do sistema 99
4.3 Soluções – tipo por associação do módulo 101
4.4 Acabamentos das superfícies 106
4.5 Instruções de fabrico, transporte e montagem 107
4.5.1 O fabrico 107
4.5.2 O transporte 107
4.5.3 A montagem 108
4.6 Peças desenhadas 109

CAPÍTULO 5 | Avaliação e implementação do sistema 110

5.1 Avaliação do desempenho 110
5.1.1 Exigências de estabilidade e comportamento mecânico 110
5.1.2 Exigências contra risco de incêndio 110
5.1.3 Exigências de segurança na utilização 111
5.1.4 Exigências de segurança contra intrusão 111
5.1.5 Exigências de conforto térmico e poupança de energia 111
5.1.6 Exigências de conforto acústico 112
5.1.7 Outras exigências de conforto 112
5.1.7.1 Estanquidade ao ar 112
5.1.7.2 Pureza do ar 112
5.1.7.3 Conforto visual 112
5.1.7.4 Conforto táctil 112
5.1.7.5 Higiene 112
5.1.7.6 Adaptação à utilização normal 113
5.1.8 Facilidade de limpeza e manutenção 113
5.1.9 Durabilidade 113

5.1.10 Facilidade de transporte e de montagem e desmontagem 114
5.2 Avaliação do sistema do ponto de vista dos objectivos propostos 114
5.3 Implementação do sistema 119
5.3.1 A elaboração de um protótipo 119
5.3.2 A elaboração de amostras dos acabamentos 122

CAPÍTULO 6 | Conclusões e desenvolvimentos futuros 127

6.1 Principais resultados obtidos 127
6.2 Desenvolvimentos futuros 128
6.3 Conclusões 129

Referências bibliográficas 130
Anexo I 140
Anexo II 142

ÍNDICE DAS IMAGENS

Fig. 2.1 – *Sistema Unitário de Construção em Betão Prefabricado*, patenteado por John Conzelmann em 1912. 12

Fig. 2.2 – Sistema *DOM-INO*, patenteado por Le Corbusier em 1915. 12

Fig. 2.3 – Opera de Sydney: Pormenor da placagem prefabricada em betão, revestida com azulejos. 14

Fig. 2.4 – Habitat 67: Agregação de módulos tridimensionais pré-fabricados. 14

Fig. 2.5 – Fachada Sul do *Edifício Transparente,* Porto. 16

Fig. 2.6 – Protótipo do painel prefabricado em betão branco e vidro: *Edifício Transparente,* Porto. 17

Fig. 2.7 – *Domus*, La Coruña: painéis prefabricados curvos. 17

Fig. 2.8 – Edifício de habitação, Fukuoka: painéis prefabricados em betão preto a simularem aparelho de pedra. 17

Fig. 2.9 – Tratamento superficial dos elementos de betão, Convento de La Tourette. 22

Fig. 2.10 – Betão *in situ* da piscina de marés de Leça da Palmeira. 29

Fig. 2.11 – Placagem em betão lavado, Igreja do Sagrado Coração de Jesus, Lisboa. 29

Fig. 2.12 – Sombreadores em betão premoldado, Edifício *Franginhas*, Lisboa. 29

Fig. 2.13 – Betão branco *in situ*, Casa da Música, Porto. 31

Figs. 2.14 – Fotogravação em betão, Biblioteca da Escola Técnica de Eberswalde. 41

Figs. 2.15 – Painéis serigrafados no Pavilhão Polidesportivo de Pfaffenholz. 41

Fig. 2.16 – Painéis em betão fotogravado na Estação de Metro de Estocolmo. 42

Fig. 2.17 – Betão pigmentado do Edifício de Exposições da Colecção Oskar Reinhart, em Winterthur. 42

Fig. 2.18 – Betão pigmentado do Edifício da Central Ferroviária de Zurique. 42

Fig. 2.19 – Experiências executadas com betão e fibra óptica, tipo LITRACON. 43

Fig. 3.1 – Amostras de um betão colorido realizadas no laboratório da *SECIL*. 48

Fig. 3.2 – Pigmentos à base de óxidos metálicos. 49

Fig. 3.3 – A diferença de tonalidade resultante do emprego de cimento cinzento (à esquerda) e de cimento branco (à direita) com a mesma percentagem de pigmento (3%). 50

Fig. 3.4 – Amostras de betões brancos, com acabamento liso e desactivado, em que a única variável é a origem dos fíleres: de mármore, calcários e graníticos, respectivamente. 52

Fig. 3.5 – Aspecto de molde em elastómeros. 55

Fig. 3.6 – Amostra resultante da aplicação do molde anterior. 55

Fig. 3.7 – Pormenor de betão desactivado (ataque fraco – 0,2mm). 56

Fig. 3.8 – Pormenor de betão desactivado (ataque médio – 0,8mm). 56

Fig. 3.9 – Pormenor dos orifícios da tela serigráfica. 60

Fig. 3.10 – Passagem do retardador superficial de presa pelos orifícios da tela. 61

Fig. 3.11 – Criação do modelo através do método serigráfico na folha de plástico que recobrirá a face do molde. 61

Fig. 3.12 – *Folhas de gravação*. 61

Fig. 3.13 – Colocação das *folhas de gravação* no painel de cofragem. 62

Fig. 3.14 – Betonagem com betão auto-compactável. 64

Fig. 3.15 – Lavagem com uma máquina de alta pressão, com cuidado para manter os detalhes do desenho. 64

Fig. 3.16 – Lavagem de painel prefabricado. 64

Fig. 3.17 – Colocação da *folha de gravação* sobre a superfície de betão endurecido. 66

Fig. 3.18 – Separação da segunda película de protecção. 66

Fig. 3.19 – Aplicação do ácido sobre a *folha de gravação* . 66

Fig. 3.20 – Extracção da *folha de gravação* . 66

Fig. 3.21 e Fig. 3.22 – Amostra de painel fotogravado em betão pela técnica pós cura e, à direita, a imagem original. 67

Fig. 3.23 – Amostra realizada pelo laboratório da *SECIL* recorrendo ao método de transferência de fotografias na base da pintura plana. 68

Fig. 3.24 – Amostra realizada pela *RECKLI*. 69

Fig. 3.25 – Fabrico das armaduras. 91

Fig. 3.26 – Moldes. 91

Fig. 3.27 – Limpeza das cofragens. 91

Fig. 3.28 – Montagem das armaduras. 91

Fig. 3.28 – Betonagem. 92

Fig. 3.30 – Painel em cura. 92

Fig. 3.31 e Fig. 3.32 – Armazenamento. 92

Fig. 4.1 – Maquetas dos elementos prefabricados que constituem o sistema. 94

Fig. 4.2 – Desenhos de estudo da solução e respectivo sistema de encaixe. 95

Fig. 4.3 – Imagens do módulo-base. 96

Fig. 4.4 – Imagens da estrutura do módulo-base. 96

Fig. 4.5 – Imagens de pormenor da caixa de derivação e da passagem das infraestruturas. 97

Fig. 4.6 – Sistema de encaixe entre os componentes principais. 97

Fig. 4.7 – Ligação de dois módulos. 97

Fig. 4.8 – Desenvolvimento do sistema modulado integrado 101

Fig. 4.9 – Imagem do painel publicitário. 102

Fig. 4.10 – Imagem da coluna de afixação. 102

Fig. 4.11 – Imagem da cabina telefónica. 103

Fig. 4.12 – Imagem de uma solução composta de cabina telefónica com painel de publicidade. 103

Fig. 4.13 – Imagem do abrigo urbano. 104

Fig. 4.14 – Imagem de uma solução composta do abrigo urbano com o 104

painel publicitário.

Fig. 4.15 – Imagem de uma solução composta do abrigo urbano com cabina telefónica. 105

Fig. 4.16 – Imagem de uma solução composta do abrigo urbano com cabina telefónica e painel informativo. 105

Fig. 5.1 – Primeira fotografia testada: Imagem A. 122

Fig. 5.2 – Segunda fotografia testada: Imagem B. 122

Figs. 5.3 – Colocação e colagem das três primeiras imagens na cofragem. 123

Figs. 5.4 – Colocação e vibração do betão branco. 123

Fig. 5.5 – Desmoldagem e limpeza das peças. 123

Fig. 5.6 – Painel A1. 124

Fig. 5.7 – Painel A2. 124

Fig. 5.8 – Painel A3. 124

Fig. 5.9 – Painel B1. 125

Fig. 5.10 – Painel B2. 125

Fig. 5.11 – Painel B3. 125

ÍNDICE DOS QUADROS

Quadro 3.1 – Exemplos de tipos de fíleres a empregar para a obtenção de várias colorações do betão. (Laboratório da *SECIL*). 48

Quadro 3.2 – Exemplos de tipos de pigmentos a empregar para a obtenção de várias colorações do betão. (Laboratório da *SECIL*). 49

Quadro 3.3 – Resultados da comparação das características de betões correntes com betões arquitectónicos, apresentados pelo Laboratório da *SECIL*. 51

Quadro 3.4 – Composição cedida pela empresa *GRACE/PIERI, SA*. 63

Quadro 3.5 – Composição cedida pela empresa *GRACE/PIERI, SA*. 63

Quadro 3.6 – Composição cedida pela empresa *HEBAU*. 67

Quadro 3.7 – Quadro de composição de referência de tipos de betão. 72

Quadro 3.8 – Proposta de referência para a elaboração de acabamentos em betão arquitectónico. 72

Quadro 3.9 – Exemplo de tipos de cimentos, suas características e aplicações. 74

Quadro 3.10 – Principais características dos adjuvantes. 78

Quadro 3.11 – Principais vantagens e desvantagens dos sistemas de construção por montagem. 83

Quadro 4.1 – Painel de afixação de informação. 102

Quadro 4.2 – Coluna de afixação de informação e/ou central de serviços. 102

Quadro 4.3 – Cabina telefónica. 103

Quadro 4.4 – Cabina telefónica e painel de afixação de informação. 103

Quadro 4.5 – Abrigo urbano. 104

Quadro 4.6 – Abrigo urbano com painel publicitário lateral. 104

Quadro 4.7 – Abrigo urbano com cabina telefónica. 105

Quadro 4.8 – Quiosque. 105

CAPÍTULO 1 | Introdução

1.1 Premissas

O betão, ao longo de todo o século XX, transformou-se num material de eleição na produção arquitectónica.
Embora a sua popularidade tenha sofrido oscilações enquanto material de construção, não perdeu a sua força como opção construtiva, apesar do avanço de outros sistemas e materiais mais sofisticados e claramente tecnológicos.

Como material de acabamento o betão, tradicionalmente, é tido como um material bruto, com grande rudeza de expressão. No entanto, a particularidade da sua resistência mecânica e a versatilidade de formas que permite, deu o impulso derradeiro ao desenvolvimento e proliferação do seu uso. [1]

Nas actuais técnicas que envolvem o fabrico de betão constata-se o aparecimento de tecnologia inovadora ligada, quer ao tratamento de superfície, quer à qualidade das propriedades mecânicas e físicas do betão, como ainda às questões relacionadas com a sua durabilidade, que vieram resolver algumas limitações impostas pela natureza do material.

Assim, nos últimos tempos, a aplicação do betão sofreu uma transformação considerável. A sistemática investigação que se tem levado a cabo nas diversas áreas que integram todo o processo construtivo associado ao betão - desde novos sistemas de cofragens, novos produtos de protecção de armaduras, novos materiais para armaduras, até à última geração de adjuvantes que facilitam o processo – melhorou substancialmente o desempenho geral do material e, em particular, permitiu novas soluções de acabamento superficial.

Dos processos de fabrico do betão, a pré-fabricação permite claramente optimizar esses novos conhecimentos e produtos complementares. Mais, a pré-moldagem dos elementos, para

[1] Na sessão de abertura do 1º Seminário Avançado de Arquitectura em Betão, realizado em Lisboa, em 2002, o engenheiro Fernando Pinheiro, membro da comissão científica, refere que o interesse da Engenharia Civil na investigação do betão se centrou, nos anos 60, em questões de resistência; na década de 70, nas suas possibilidades expressivo- arquitectónicas; nos anos 80, no seu comportamento mecânico, nos métodos de cálculo, na diminuição do peso próprio (conseguindo-se secções mais esbeltas) e, nas questões da durabilidade, já que no tempo decorrido desde a realização das primeiras obras, o betão foi demonstrando a fragilidade dos seus componentes à deterioração. A partir da década de 90, a atenção foi conduzida, principalmente, para as questões do ambiente.

.

além de assegurar níveis superiores de qualidade do material, permite uma produção em série, automatizada, diminuindo drasticamente a relação preço-qualidade dos componentes e, indirectamente, da construção final.

A aplicação do betão a sistemas de mobiliário urbano, utilizando estas novas tecnologias, pode constituir um exemplo prático da exploração das novas possibilidades construtivos deste material para além do seu tradicional uso.

O mobiliário urbano pressupõe funções fortemente vinculadas à nova percepção do ambiente urbano (mobilidade, informação, qualidade física, imagem representativa, etc.).
Os materiais e as técnicas normalmente usadas na construção desses pequenos equipamentos urbanos assumem duas vertentes distintas: por um lado, os materiais utilizados são leves e constituem-se em elementos que se agregam, apresentando um carácter ligeiro e, simultaneamente, requintado em termos de pormenor; por outro, as construções são modulares, agregando-se peças para formar novos usos.
No entanto, esses materiais (alumínio, vidro, aço, plásticos) apresentam algumas limitações funcionais: por um lado, devido às suas características físicas, requerem uma manutenção intensa e cuidadosa, por outro, obrigam a sistemas de junção de componentes diversificados, tanto ao nível das técnicas de execução e fabrico como no que diz respeito ao controlo projectual.

Num contexto de globalização e de fortes dinâmicas culturais, económicas e técnicas, é da capacidade de adaptação a essas novas condições do meio envolvente que depende a oportunidade do betão em se afirmar como material de construção, por excelência. Embora, o seu lugar como material estrutural esteja já consolidado, a sua potencialidade como material de acabamento, ao contrário, não é tão evidente. Pode-se atestar essa diferenciação comparando as duas linhas evolutivas do material: resistência mecânica e acabamento superficial. Só um equilíbrio das tecnologias de acabamento com as estruturais pode conduzir a uma melhor adaptabilidade do betão às novas solicitações da cultura construtiva

contemporânea.
Estas questões são o ponto de partida para uma reflexão e estudo das novas potencialidades do betão permitidas pelos últimos desenvolvimentos técnicos. O trabalho abordará essas novas capacidades do material na sua vertente estética, programática e produtiva, principalmente, na perspectiva da evolução dos sistemas de pré-fabricação.

1.2 Tema

O tema da dissertação é:

AS NOVAS POTENCIALIDADES DO BETÃO COMO MATERIAL ARQUITECTÓNICO: APLICAÇÃO A UM SISTEMA PREFABRICADO DE MOBILIÁRIO URBANO.

1.3 Objectivos da dissertação

O objectivo do presente trabalho é o de demonstrar a existência de novas aptidões expressivas e técnicas do betão, a partir da abordagem das tecnologias de acabamento existentes, e do seu encontro com novos usos.

Quando se pensa nas novas apetências do betão, decorrentes dos últimos desenvolvimentos tecnológicos dos materiais e processos que integram a elaboração do betão, abrem-se novas perspectivas na aplicação do material a novos produtos. Referimo-nos, concretamente, aos usos até agora dominados por outros materiais construtivos e formados através duma produção repetitiva automatizada.

Neste quadro, parte-se do princípio que a optimização da aplicação do betão através dos processos de pré-fabricação, pode constituir alternativas interessantes no desenho arquitectónico de alguns programas funcionais. Isso deve-se a dois factores:

1. O primeiro, ao nível das tecnologias de acabamento, a pré-fabricação é um sistema que garante os melhores resultados na satisfação das exigências dimensionais e de qualidade superficial preestabelecidas, uma vez que é um processo onde se podem fixar critérios de qualidade muito apertados.
2. O segundo, ao nível da minimização de custos, a pré-fabricação apresenta-se como um sistema produtivo automatizado e sistematizado, o que pode permitir uma viabilidade económica de algumas soluções construtivas complexas e, portanto, incomportáveis em termos de mão-de-obra que envolveria numa situação normal de estaleiro de obra.

Outros objectivos a serem cumpridos no desenvolvimento do trabalho contribuem para a satisfação do objectivo principal:
- A elaboração de uma pesquisa bibliográfica sobre o estado actual do conhecimento no que respeita às novas potencialidades do material;
- O estudo das tecnologias de acabamento e dos sistemas de produção em betão;
- O desenvolvimento de um projecto para síntese e verificação do conhecimento;
- A materialização e validação do projecto, através do projecto para fabrico de um protótipo do módulo concebido e da elaboração de um painel amostra com o acabamento pretendido.

1.4 Metodologia de abordagem

Este trabalho foi realizado na perspectiva do *especialista-generalista* [2] – uma característica particular da formação do arquitecto. É intenção que a síntese de conhecimento empírico exposta, seja considerada como uma ferramenta de projecto permitindo ao arquitecto obter o conhecimento necessário do material e das técnicas que lhe estão associadas, para as poder manusear adequadamente, tanto no acto criativo como no diálogo necessário estabelecer com as entidades produtoras e com os especialistas na matéria.
A abordagem assenta, assim, num ponto de vista de

[2] Qualificação atribuída ao arquitecto pelo Professor Arquitecto Fernando Távora, no discurso do acto inaugural da Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto, em 1983. Dizia o arquitecto portuense: «*É na apaixonante e difícil formação deste especialista-generalista, passe o aparente contraditório da expressão, deste homem de síntese criadora com capacidade de inteligente análise*».
«*Guia do Estudante da Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto*», p.7.

exequibilidade e não normativo.

1.5 Estrutura da dissertação

A tese está dividida em seis capítulos:

- No Capítulo 1, faz-se uma primeira aproximação ao tema, delimitando os objectivos, a metodologia de abordagem, a estrutura do trabalho e a descrição das bases que serviram de apoio ao trabalho.

- No Capítulo 2, expõe-se a evolução do conhecimento sobre as vertentes que se consideram serem o caminho de desenvolvimento do uso do betão: a sua potencialidade expressiva enquanto material arquitectónico e a produção através de métodos de pré-fabricação.

- O Capítulo 3, está dividido em dois subtítulos:

1. No primeiro, estuda-se a tecnologia dos acabamentos. Nesse sentido, recorreu-se à colaboração dos laboratórios da *SECIL* e da *PRÉGAIA*, entidades com uma longa experiência prática nas áreas em estudo. Analisou-se as questões comuns à produção dos diversos acabamentos e descreveu-se as disposições fundamentais para os diferentes tipos de realizações e modos de execução. Elaborou-se um quadro síntese que apresenta propostas para a elaboração de vários tipos de acabamentos, tendo por base composições de betão de referência já experimentadas e testadas. Pois, não é intenção do trabalho impor soluções definitivas, mas dar um contributo ao estudo e sistematização destas técnicas, criando referências de modo a facilitar a sua utilização. Descrevem-se também, as actuais técnicas de transferência de imagens para a superfície do betão. Por fim, realizou-se um estudo dos materiais constituintes do betão e a sua relação com o aspecto final da superfície.

2. No segundo tema fez-se um contraponto entre o betão prefabricado e o realizado *in situ*. Foram abordadas as

sucessivas fases de elaboração, desde a concepção à montagem, passando pelo fabrico e transporte dos elementos.

- No Capítulo 4, desenvolveu-se um projecto de mobiliário urbano com a intenção de objectivar a hipótese de dar novas utilizações ao betão enquanto material de construção. Tudo assente na perspectiva da pré-fabricação e das novas técnicas de acabamentos.

- No Capítulo 5, faz-se essencialmente a avaliação do sistema proposto, tanto ao nível das exigências de desempenho como ao nível da qualidade estética, na perspectiva arquitectónica. Descreveu-se também as experiências realizadas no laboratório da *SECIL* com o objectivo de validar a implementação do sistema. Realizaram-se seis amostras, onde foi aplicada uma técnica de transferir imagens para a superfície do betão. Fez-se também a descrição do processo de fabrico de um protótipo do sistema de mobiliário urbano.

- No Capítulo 6, apresentam-se os principais resultados obtidos no âmbito do presente trabalho e lançam-se algumas pistas de investigação para abordar em desenvolvimentos futuros e a realizar por equipas de investigação interessadas no tema.

1.6 Bases do trabalho desenvolvido

A recolha bibliográfica foi estruturada em dois critérios:

1. Por um lado, a recolha foi realizada seguindo uma linha de contextualização histórica e de enquadramento teórico dos temas presentes no trabalho.
2. Por outro lado, a investigação procurou uma leitura mais técnico-científica das matérias estudadas. Aqui, a pesquisa foi dificultada pela escassez de publicações sobre o assunto, em particular, sobre as técnicas de transferência de imagens para a superfície de betões.

Uma das obras que está na base do trabalho é a de Fernandez Ordoñez[3]. O autor espanhol faz uma abordagem teórica e

prática sobre a pré-fabricação, desde o ponto de vista histórico até às soluções técnicas de pré-fabricação em betão.

Outro teórico que abordou o tema é Tihamér Koncz[4] ao descrever os princípios da construção como sistemas de montagem.

Edward Morris[5], outro estudioso do tema, fez sobretudo a análise da pré-fabricação em betão na arquitectura europeia e americana, desde a revolução industrial até aos anos 70.

É de notar que a maior parte da bibliografia encontrada é estrangeira e é datada da década de 70.

Ainda sobre o enquadramento teórico da pré-fabricação e da construção industrializada foram estudadas as obras de Siegfred Giedion, Richard Bender, Águila Garcia, Salas Serrano e Henrik Nissen. [6]

Sobre o panorama nacional, a informação encontrada reduziu-se, essencialmente, a artigos publicados em revistas e a compêndios de seminários realizados sobre o tema. Destacam-se, no entanto, a produção teórica de Antero Ferreira[7] e de Joaquim Viseu[8]. Uma outra obra de referência na compreensão das propriedades e fabrico do betão é a do engenheiro Sousa Coutinho[9].

Consultaram-se, igualmente, publicações dispersas e de natureza diversa, tanto sobre a indústria da pré-fabricação em betão como da indústria de derivados de cimento, amavelmente cedidas por diversas associações ou outras instituições ligadas a esses sectores, as quais editam compilações de textos de vários estudiosos do tema. Encontram-se nessa lista as seguintes entidades: Associação Técnica da Industria do Cimento (*ATIC*), Associação Nacional dos Industriais de Produtos de Cimento (*ANIPC*), Companhia Geral da Cal e Cimento (*SECIL*).

Na vertente das tecnologias de acabamentos destacam-se ainda os artigos fornecidos directamente pela Engª. Ângela Nunes, do laboratório da *SECIL*, os textos cedidos por Mikael Göransson, artista plástico sueco que trabalha na área da fotogravação em betão, os textos fornecidos pelo Dr. Arq. Alberto Reaes Pinto, estudioso da história do betão prefabricado.

[3] ORDOÑEZ, J. A. Fernandez – «*Prefabricacion: teoría y práctica*».

[4] KONCZ, Tihamér – «*Manual de la Construcción Prefabricada*».

[5] MORRIS, A. E. J. – «*El Hormigón Premoldeado en la Arquitectura*».

[6] Destes autores salienta-se as seguintes obras:
- GIEDION, Sigfred. – «*Espacio, Tiempo y Arquitectura*».
- BENDER, Richard – «*Una Visión de la Construcción Industrializada*».
- GARCÍA, Alfonso del Aguila – «*Las Tecnologias de la Industrialización de los Edificios de Vivienda*».
- SERRANO, J. Salas – «*Elementos de Edificacion: Construcción Industrializada Prefabricación*».
- NISSEN, Henrik – «*Construcción Industrializada y Diseño Modular*».

[7] FERREIRA, Carlos Antero – «*Betão Aparente em Portugal*».

[8] VISEU, Joaquim C. S. – «*História do Betão Armado em Portugal*».

[9] COUTINHO, A. de Sousa – «*Fabrico e Propriedades do Betão*», Vol. I e II.

CAPÍTULO 2
O Betão: Material Arquitectónico | Enquadramento Teórico

2.1 Origem e desenvolvimento do betão associado à pré-fabricação da construção[1]

> «*La arquitectura del futuro inmediato parece estar dirigida a buscar otra definición de "plasticidad", aplicable a los materiales que pueden moldearse como la arcilla.*» [2]

O betão, desde a sua tardia aparição como material de construção, tem desempenhado um papel protagonista no desenvolvimento da arquitectura moderna e contemporânea.

O facto de ser um material composto, com um carácter fluido, e de ser moldável, confere-lhe a particularidade de poder constituir-se como um produto industrial com enormes possibilidades na materialização da concepção arquitectónica. [3]

Pode-se considerar o betão como uma pasta composta por uma mistura de brita/cascalho, areia, cimento e água, depois vertida em cofragens onde, conforme os casos, são inseridas armaduras dispostas de acordo com a configuração da forma pretendida. Depois de solidificada, essa pasta apresenta-se como uma *pedra* (artificial) com a forma positiva da cofragem. O processo, aparentemente simples, até à sua maturidade técnica teve uma linha evolutiva lenta dada a heterogeneidade da sua composição e a complexidade do seu comportamento.

O componente principal do betão é o cimento, que se confunde muitas vezes com o próprio composto a que dá origem. Segundo Sigfried Giedion[4] o descobrimento[5] do cimento deve-se a John Smeaton, um dos grandes engenheiros do século XVIII, que usou pela primeira vez, de forma consciente, os cimentos hidráulicos na construção do farol de Eddystone, em Inglaterra, no ano de 1774. Smeaton empregou uma mistura de cal viva, argila, areia e escória de ferro em pó, como material de

[1] Como complemento ao texto apresentado é fornecido em anexo um quadro cronológico com acontecimentos correlacionados com as obras referidas – Anexo I.

[2] MORRIS, A. E. J. – «*El Hormigón Premoldeado en la Arquitectura*», p.143.

[3] Um dos exemplos marcantes das novas potencialidades dadas pelo betão foi o sistema estrutural porticado, que deu origem ao modelo de organização espacial baseado na retícula a qual definiu praticamente toda a construção do século XX.

[4] GIEDION, Sigfried – *«Espacio, tiempo y arquitectura»*, p.334.

[5] Na realidade o termo correcto seria *redescobrimento*, uma vez que o betão enquanto composto que agrega inertes através de um ligante havia sido já empregue pelos romanos. Contudo existem autores que defendem que o betão nasce a partir da invenção do cimento *portland* e, portanto, que até aí os termos usados para definir esses materiais antecessores do betão deveriam ser outros.

união dos aparelhos de pedra. Esta obra é o resultado de experiências anteriormente realizadas em que constatou que a mistura da argila com a cal viva, por acção da água conduzia a um processo de endurecimento e colagem.

Mais tarde, em 1824, Joseph Aspdin produziu o primeiro aglomerante hidráulico, que endurece por acção da água. Referimo-nos ao cimento *Portland*: cimento artificial obtido pela calcinação de calcário com argila.
Dando continuidade às experiências de Smeaton, que empregava os elementos tal como se encontravam em estado natural, Aspdin, regulando a combinação dos componentes, chegou a um material que haveria de modificar toda a cultura construtiva do século seguinte.

Em termos históricos, o contributo maior do fabrico industrial do cimento *Portland* foi o de fazer despoletar, a partir de meados do século XIX, o desenvolvimento dos processos industriais de pré-fabricação de elementos resistentes em betão, em alternativa aos elementos de ferro laminado que se produziam.
O ambiente tecnológico e político do século XIX tinha dado origem a uma série de construções utilitárias – como são os casos de pontes, naves industriais, estações ferroviárias, museus – onde o uso do ferro desempenhava um papel estrutural e expressivo crucial nessa nova linguagem arquitectónica virada para a estrita expressão da *firmitas* vitruviana[6]. No entanto, a história havia demonstrado que o ferro tem um mau comportamento ao fogo e carecia de manutenção assídua. Estes problemas poderiam ser resolvidos com a complementaridade do betão: envolvendo essas estruturas metálicas com betão garantiam-se menores dilatações das peças quando expostas ao calor do fogo e permitia-se uma maior economia em termos de gastos com a manutenção do material estrutural.
A conjugação do betão com o ferro teve outras consequências fundamentais: uma vez que o betão tem fraco poder de reacção a esforços de tracção e se comporta optimamente quando submetido a compressões, a inserção de armaduras viria a corrigir esse desequilíbrio e a transformar o betão num material

[6] O termo *firmitas* representa um dos conceitos fixados no primeiro tratado de arquitectura pelo romano Marco Vitrúvio Pólion (20 a.c.). Juntamente com a *utilitas* e a *venustas*, a *firmitas* formava a tríade da criação arquitectónica. A *firmitas* representava os aspectos ligados com a resistência estrutural dos elementos e dos edifícios; a *utilitas* representava os aspectos programáticos, de utilização e funcionamento dos espaços; a *venustas* estava ligada aos aspectos de proporção e beleza das formas.

eficaz e funcionalmente versátil. Este novo material – o betão armado – irá ter um desenvolvimento tecnológico que, gradualmente, remeterá a construção exclusivamente metálica para segundo plano. Do ponto de vista da linguagem arquitectónica, este protagonismo do betão armado coincide com o aparecimento do Movimento Moderno, cujas formas dependerão em muito das novas possibilidades estruturais e expressivas dadas pelo novo compósito.

As primeiras utilizações modernas do betão armado que se conhecem são dispersas e exteriores ao universo da construção de edifícios. Como exemplo dessas experiências pioneiras aparecem a famosa embarcação de Joseph-Louis Lambot, em 1848, e os vasos de flores de Joseph Monier, em 1849. No entanto, estes objectos rudimentares remetiam já para algumas potencialidades que se consolidariam com o posterior desenvolvimento tecnológico do material. Uma dessas características é a referente ao betão como material estrutural quando contém no seu interior armaduras de aço, ou seja, enquanto betão armado; outra é a possibilidade dos elementos em betão poderem ser prefabricados, ou seja, poderem ser produzidos num contexto exterior ao do estaleiro da obra e serem susceptíveis de uma produção em série, portanto, uma produção repetitiva e extremamente controlada.

No fim do século XIX, com os engenheiros-construtores, François Hennebique, François Coignet, Gustav Adolf Wayss, Conrad Freytag e Paul Cottancin, o betão armado já tinha adquirido o seu importante significado técnico e económico no sector da construção. Era então reconhecido pelo seu funcionamento resistente e pelas suas vantagens como material construtivo, nomeadamente, pelo seu bom comportamento ao fogo, por ser um material económico, graças à utilização de matérias-primas baratas e pela liberdade formal que permitia aos projectistas.

As primeiras aplicações em grande escala do betão armado dão-se a partir de 1890 e devem-se essencialmente ao construtor francês, François Hennebique. Hennebique conhecia as diferentes características do ferro e do betão, sabia a forma de

os combinar e como dispor as barras de ferro para armar o betão conforme as solicitações de carga. A forma de dispor a armadura era então definida por critérios essencialmente empíricos que permitiam estabelecer com rigor o comportamento estrutural dos tramos principais dos elementos estruturais a construir. O sistema desenvolvido com os novos conhecimentos era sobretudo baseado na decomposição da estrutura em elementos reticulares formados por vigas e pilares.

Em oposição ao espírito mais pragmático de Hennebique, formou-se, na Alemanha, uma escola de engenharia cuja aproximação ao comportamento do betão armado era mais teórica, assente em métodos de cálculo. Esta metodologia de trabalho, de base científica, começou por explorar os sistemas anteriormente desenvolvidos por Monier, nomeadamente a patente, de 1877, das vigas prefabricadas, em que se explicitava o papel do ferro no material.

Estas duas correntes deram origem a duas áreas geográficas distintas quanto à forma de concepção estrutural do betão armado: o sistema francês, de Hennebique, baseia-se num sistema estrutural reticular fundamentado na utilização do pilar, viga e laje em betão armado, que conduzirá à redução da estrutura dos edifícios ao esqueleto portante; o sistema alemão, levado a cabo por Wayss e Freytag, baseia-se na arquitectura da laje, cujas formalizações expressam as possibilidades do novo material na realização de cascas e finas superfícies curvas.

O sistema desenvolvido por Hennebique introduzia uma nova atitude face ao encerramento do vão formado pelo pórtico no alçado. A trama estrutural de pilares e vigas de betão realizado *in situ* deveria ser fechada para formar o alçado: o original recurso a elementos prefabricados (também em betão) colocados de forma a preencher os interstícios dos pórticos, constitui uma *sub-estrutura* que possibilitava uma flexibilidade no desenho geométrico e dimensional das janelas exteriores.
Esta técnica não impressionou os estudiosos da época, mas veio a influenciar o importante arquitecto francês Auguste Perret que, mais tarde, a desenvolveu, incluindo-a no seu vasto reportório técnico sobre o conhecimento do betão armado.

A par da investigação levada a cabo por construtores e engenheiros, no âmbito da determinação das características do betão armado, surgem, desde os primeiros anos, tentativas de prefabricar com o novo material.

As primeiras realizações no âmbito da pré-fabricação em betão estão associadas ao programa habitacional. Esta relação preferencial deve-se ao incremento exponencial das necessidades de alojamento nas grandes cidades industriais do início do século XX, sobretudo no primeiro período pós-guerra mundial. Exemplos dessas primeiras experiências em pré-fabricação são as efectuadas por J.A. Brodie, Thomas A. Edison e Grosvenor Atterbury. Nesta fase inicial serão já testados os painéis de fachada e algumas soluções ao nível dos elementos estruturais.
Porém, nesse momento, a tecnologia do betão não estava ainda em condições de resolver adequadamente algumas dificuldades práticas que surgiam. Um desses problemas era o do custo do transporte dos elementos prefabricados, que só era justificado economicamente quando a sua aplicação era em larga escala, portanto, em projectos de considerável dimensão.
Entre 1910 e 1920 foram idealizados numerosos sistemas em betão. John Conzelmann patenteia, nesses primeiros anos do século XX, um procedimento para a construção de edifícios de vários pisos com elementos prefabricados de betão armado.

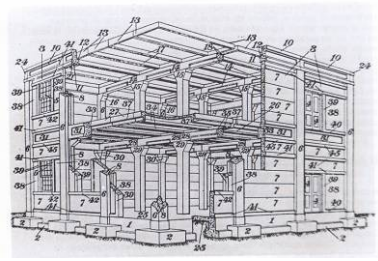


Fig. 2.1 – *Sistema Unitário de Construção em Betão Prefabricado*, patenteado por John Conzelmann em 1912. Em, MORRIS, A. E. J. – «*El Hormigón Premoldeado en la Arquitectura*», p.66.

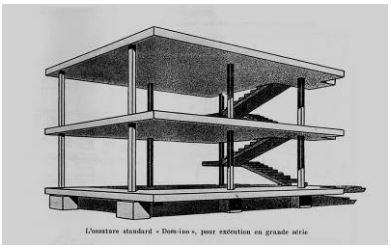


Fig. 2.2 – Sistema *DOM-INO*, patenteado por Le Corbusier em 1915. Em, MANDOLESI, Enrico – «*Edificacion: el proceso de edificación, la edificación industrializada, la edificación del futuro*», p.240.

Os arquitectos Auguste Perret, Jean Prouvé, Le Corbusier, Eugène Beaudouin e Marcel Lods realizam em França experiências em pré-fabricação, trabalhando na sistematização de elementos e processos, para tentar solucionar o problema da falta de habitação a partir da ideia de rapidez de construção e economia de meios.
Em particular, Le Corbusier estuda várias soluções para realizar habitações prefabricadas para produção em série. A primeira delas é a estrutura da casa *Dom-ino*, em 1915. Este processo construtivo consistia na definição de um sistema estrutural – a *ossatura* – completamente independente das funções da habitação. O denominado *plan libre* (um dos conceitos primordiais da arquitectura moderna) suponha uma

independência entre a fachada, a divisão interna e o sistema estrutural que apenas suportava as lajes e as escadas, dando total flexibilidade à organização interior do espaço. A casa *Domino* seria fabricada a partir de elementos estandardizados, combináveis uns com os outros, o que permitia uma grande diversidade na disposição funcional das casas e na sua agregação de conjunto.
Le Corbusier, em 1921, propõe também a casa *Citroam*. Neste projecto, o arquitecto suíço tenta realizar uma produção em série de casas num sistema automatizado semelhante ao da fabricação dos automóveis, inspirando-se na famosa produção do modelo *T* da marca americana *Ford*.

A pré-fabricação em massa de componentes a indústria da construção de edifícios deveu-se à urgência que a partir da Primeira Guerra Mundial houve em criar alojamentos de forma rápida e económica. O programa habitacional contribuiu assim, em definitivo, para a implementação de sistemas de pré-fabricação onde se incluiria os elementos em betão armado.
Apesar do campo de aplicação ser predominantemente o da habitação multifamiliar de cariz social, foram também levadas à prática soluções aplicadas a programas industriais e de equipamentos, como por exemplo escolas e que se constituem como peças notáveis de arquitectura.

A utilização de elementos prefabricados em betão armado nas construções começou a ter uma importância efectiva, tanto económica como tecnológica, a partir da Segunda Guerra Mundial.

Segundo Ordoñez[7], foi após 1945 que começou a verdadeira história da pré-fabricação como manifestação significativa da industrialização na construção.
A adopção de soluções prefabricadas com elementos de betão armado e a realização de experiências dirigidas às grandes produções em série dão-se em função da necessidade de se construir em grande escala, para solucionar o elevado défice de construções.

A antiga União Soviética foi o país onde mais se recorreu aos

[7] ORDOÑEZ, J. A. Fernandez – «*Prefabricacion: teoría y práctica, seminario de prefabricación*», p.114

sistemas prefabricados, construindo-se mais de duzentas cidades novas, o que com métodos tradicionais de construção era impossível de realizar. A solução adoptada foi o emprego de grandes painéis em betão que viriam a constituir o «logótipo da reconstrução europeia». [8]

Segundo a interpretação de Julián Serrano o percurso dos sistemas prefabricados em betão sofreu várias etapas:

1. A primeira, compreendida entre os anos de 1950 a 1970, constitui o período em que há a necessidade de construir muitos edifícios, quer habitação, quer escolas, hospitais e indústrias, devido à falta de edificações ocasionada por demolições da guerra e do fenómeno de forte concentração urbana.
   Os edifícios construídos nesta época eram compostos por elementos prefabricados procedentes de um mesmo fornecedor, constituindo o que se convencionou designar por ciclo de produção fechado[9]. Os sistemas fechados, com base na fabricação de grandes painéis, foram dominantes na Europa de Leste e importantes nos restantes países do mundo ocidental.
   Nestas décadas, o panorama produtivo em que as soluções de pré-fabricação de betão se enraizavam não tinha a flexibilidade suficiente para uma abertura á invenção de outros sistemas. Assim, pode-se dizer que os projectistas tinham duas hipóteses de trabalho: ou recorriam aos sistemas de pré-fabricação pesada que, por motivos de economia de construção, não permitiam grandes variantes ao projecto[10]; ou se refugiavam em inventos utópicos, como aconteceu com o grupo inglês de *arquitectura metabolista ARCHIGRAM*. Apesar destas dificuldades foram construídas algumas obras em situações excepcionais. Pode-se indicar a Opera de Sidney (Austrália) do arquitecto Jorn Utzon, construída durante os anos sessenta, e o complexo habitacional [11] projectado para a Exposição Universal de Montreaux (Canadá) pelo arquitecto Moshe Safdie em 1967.

2. A segunda etapa inicia-se no começo da década de 70, em

[8] SERRANO, J. Salas – «*Elementos de Edificación: Construcción Industrializada Prefabricación*», p. I.3.

[9] O ciclo fechado de produção baseia-se no princípio de produzir tipos predeterminados de edifícios mediante a pré-fabricação em série, em fábrica, de todos os elementos construtivos funcionais que os compõem, ou mediante a produção industrializada das cofragens, planas ou espaciais (em túnel), que constituem as matrizes normalizadas do tipo de edifício ou obra a realizar.
As vantagens do emprego destes sistemas, em termos de arquitectura e urbanismo, conseguiram-se ao nível quantitativo – e não qualitativo – já que permitiam intervenções construtivas massivas para fazer rapidamente frente à crescente solicitação de alojamentos e serviços no período Pós-Guerra.

[10] Por exemplo: impunham reduzidas variações em planta, por trabalharem com um mínimo de elementos pouco diferenciados; a forma dos edifícios era sobretudo linear e resultava da optimização do trabalho da grua de colocação de peças.

[11] Este empreendimento apresenta uma solução evolutiva por acrescento de módulos prefabricados auto-suficientes.

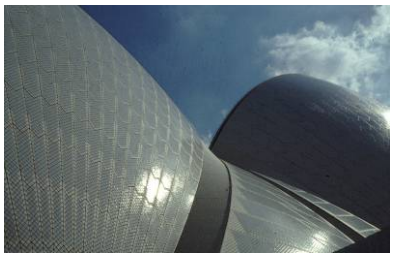


Fig. 2.3 – Opera de Sydney: Pormenor da placagem prefabricada em betão, revestida com azulejos. Em, <URL:http://www.greatbuildings.com>

Fig. 2.4 – Habitat 67: Agregação de módulos tridimensionais pré-fabricados. Em,<URL:http://www.greatbuildings.com>

simultaneidade com o início da crise energética provocada pelo primeiro choque petrolífero (1970-73). Por esta altura, a par das novas exigências de conforto térmico crescia a crítica dos usuários à construção massiva, monótona e de escassa flexibilidade, o que conduziu ao abandono paulatino dos sistemas fechados à base de grandes painéis simples, agora designados como «a primeira geração de tecnologias de industrialização»[12] .

O acidente ocorrido no edifício de apartamentos *Ronan Point*, nos arredores de Londres, em 1968, que ruiu parcialmente após a explosão de uma botija de gás, associou a imagem da construção prefabricada, à base de grandes painéis prefabricados, a um *castelo de cartas* que facilmente entra em colapso por reacção em cadeia. Este acidente teve como consequência técnica imediata, para além da rejeição social ao tipo de construção utilizada, uma profunda revisão do conceito de utilização dos processos construtivos em grandes elementos prefabricados, contribuindo desta forma para o declínio dos sistemas prefabricados de ciclo fechado de produção.

[12] SERRANO, J. Salas – «*Elementos de Edificación: Construcción Industrializada y Prefabricación*», p. I.5.

3. A partir de 1980, avança-se para uma «segunda geração tecnológica» no campo da construção prefabricada em betão armado. A nova fase é dominada pela introdução de sistemas de ciclo aberto de produção[13], ou seja, por modos de fabrico que dispõem de processos de produção flexíveis, nos quais os componentes são de origem diversa, e consequentemente, de diferentes produtores, conjugando conhecimentos heterogéneos que contribuem para uma maior qualidade geral do produto final.

[13] O ciclo aberto de produção, ou a *fabricação por componentes*, significa construir por meio de procedimentos industrializados, em fábrica ou em obra, através de elementos de fábrica ou de componentes, em coordenação dimensional modular, não ligados *à priori* a tipos particulares de construção, de matriz fechada.

O desenvolvimento da produção industrial de elementos construtivos coordenados (sub-sistemas) a ciclo aberto é baseado na coordenação modular para realizar diversos tipos de edifícios. Para esse desenvolvimento contribuíram as investigações sobre a unificação e a coordenação modular levadas a cabo por alguns dos protagonistas do movimento moderno racionalista. De entre as várias tentativas de padronização dos elementos, levados a cabo pela tendência internacionalista da arquitectura moderna, o *modulor*

corbusiano representa o caso mais explícito de uma nova sensibilidade pela criação de uma ordem métrica universal.
Neste contexto, em 1961, a Organização Europeia de Construção de Edifícios estabelece o módulo base internacional 1M = 10cm.

A par da necessidade de promover um sistema de coordenação modular desenvolve-se um sistema de normas técnicas que garantam a qualidade das edificações. [14]
Assim, no âmbito dos sistemas prefabricados, a construção é balizada por normas que regulam, quer o processo de fabrico, quer o de montagem, de que são exemplo as normas francesas (NF), as alemãs (DIN) e as normas ISO. Este assunto será retomado no Capítulo 3, aquando da abordagem do sistema produtivo do betão.

[14] A importância da normalização e da unificação já tinha sido codificada no procedimento da *ballon frame* (elementos construtivos normalizados em madeira) por S.G. Snow, em 1833.

Exemplos de construções com componentes prefabricados podem ser encontrados, hoje, de uma forma imediata e natural nas obras de engenharia mais quotidianas, como são exemplo as auto-estradas, pontes e viadutos, *rails* de protecção, saneamento, muros de contenção, etc. Apesar de um começo muito prometedor, ao nível experimental, os sistemas prefabricados em betão não se estenderam à construção corrente de edifícios. São sobretudo usados, pontualmente, sob a forma de elementos construtivos resistentes (lajes, pilares) e de revestimento.

Fig. 2.5 – Fachada Sul do *Edifício Transparente,* Porto.

Podemos enumerar alguns edifícios mais emblemáticos na aplicação de tecnologia de pré-fabricação de betão armado.
Estabelecendo como primeiro critério a utilização de elementos prefabricados estruturais deve-se sublinhar a sua fraca utilização, remetendo o seu uso quase exclusivo para a construção anónima de armazéns.
Sobre o segundo critério - sistemas para revestimento ou fecho de empenas - indicam-se algumas arquitecturas recentes, importantes como indicadoras das potencialidades expressivas da técnica:

a) *Edifício transparente*, no Porto, do arquitecto catalão Manuel de Solà-Morales. Neste caso, aplicam-se painéis de fachada autoportantes prefabricados, conjugando

vidro com betão branco.

b) *Domus*, em La Coruña (Espanha), do arquitecto japonês Arata Isozaki. O edifício apresenta uma fachada voltada para o oceano com uma forma curva hidrodinâmica. Este aspecto peculiar da construção foi conseguido graças à pré-fabricação de peças em betão branco autoportantes. A sua geometria – gomos encaixados até formar uma calote – só poderia apresentar a qualidade superficial através da precisão da cofragem conseguida em fábrica.

c) Edifício habitacional em Fukuoka (Japão), do arquitecto holandês Rem Koolhaas. Em toda a fachada do primeiro piso recorre-se a uma placagem pesada de elementos prefabricados em betão preto. O desenho do relevo da superfície das peças imita um aparelho de pedra colocada na diagonal, típica das construções tradicionais japonesas. O efeito, conseguido através de um negativo em silicone colocado no molde, pretende dar uma simbologia tectónica a um material artificial tratado tecnologicamente, como é o betão e a pré-fabricação.

Fig. 2.6 – Protótipo do painel prefabricado em betão branco e vidro: *Edifício Transparente,* Porto.

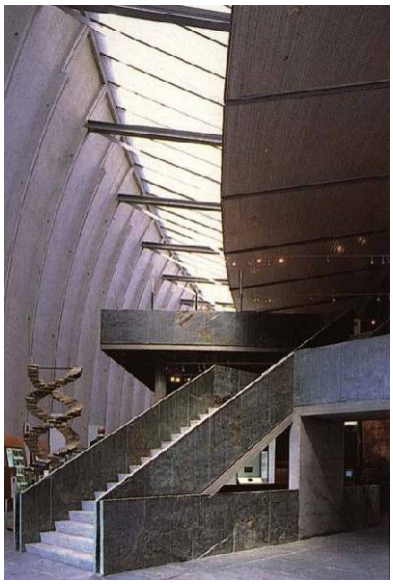


Fig. 2.7 – *Domus*, La Coruña: painéis prefabricados curvos.

Fig. 2.8 – Edifício de habitação, Fukuoka: painéis prefabricados em betão preto a simularem aparelho de pedra. Em, <URL:http://www.greatbuildings.com>

Estes casos representam três exemplos dos percursos possíveis que a investigação projectual pode enriquecer: a combinação de materiais, a forma das peças, o relevo e a cor das superfícies.

A industrialização da edificação foi vista como um meio para resolver quantitativamente a procura cada vez maior da habitação considerada como um bem de primeira necessidade, porém, desviada por interesses económicos e por uma visão tecnicista, os sistemas criados não responderam plenamente no plano qualitativo, dando lugar a cidades dormitório ou a periferias desqualificadas tanto na vertente de imagem urbano como nos aspectos associados à qualidade do espaço interior habitável.

A má conotação relacionada com a imagem do betão, de que é célebre a expressão *selva de betão*, é consequência desse seu emprego desmedido pelas experiências passadas.

O ciclo evolutivo que parecia estar a iniciar-se na primeira metade do século XX, gradualmente começou a estagnar. Hoje, em particular no âmbito nacional da produção arquitectónica, os sistemas de pré-fabricação em betão são pouco utilizados ou então são incorporados nos edifícios, mas abaixo das suas possibilidades expressivas e técnicas.

2.2 Primeiras manifestações do betão enquanto material arquitectónico[15]

> «*Desde o final do século XIX que a questão do material de construção surge recorrentemente no debate sobre a definição da nova arquitectura. Associado como vimos ao cálculo, à ciência, à objectividade, o betão armado torna-se rapidamente tema de suporte dos arquitectos desejosos de uma renovação na arquitectura, no quadro dominante de uma cultura racionalista. O material de construção tende a suplantar os sistemas construtivos. Investido de propriedades que, estando para além de simples questões construtivas, participam do próprio universo de representação, o betão armado passa a intervir na definição da modernidade arquitectónica.*» [16]

A partir do momento em que o betão começou a ser considerado um material com elevado potencial para ser utilizado em *manifestações arquitectónicas*, desempenhando papéis diversos, a industrialização do seu processo de fabrico apresentou-se como a solução que assegurava, à partida, os melhores resultados, compatibilizando a qualidade das peças com o preço dos meios produtivos empregues. Garantindo uma mão-de-obra qualificada, uma sistematização dos meios empregues e um controlo apertado da produção, o fabrico de componentes de betão apresenta-se com padrões de qualidade superior.

No caso específico da qualidade de acabamento dos elementos à base de betão armado, a pré-fabricação representa o método mais fiável e rentável na produção em larga escala de peças. Nas condições actuais do mercado da construção, onde a redução tempo de obra é um factor muito importante e onde os níveis de qualidade técnica são cada vez mais apertados, a pré-fabricação aparece como um sistema produtivo capaz de dar ao betão os altos níveis de desempenho, tanto do ponto de vista técnico como arquitectónico.

Numa primeira fase, os elementos prefabricados eram concebidos como imitações de peças pré-existentes em pedra,

[15] Como complemento ao texto apresentado é fornecido em anexo um quadro cronológico com acontecimentos correlacionados com as obras referidas – Anexo I.

[16] TOSTÕES, Ana – «*Novos Materiais e Construção Moderna*», p.47.

ou seja, como *pedras artificiais*. [17]

Como acontece com todos os materiais novos, o betão não foi tratado no início da sua história em consonância com a sua natureza e as suas propriedades peculiares. No que se refere ao tratamento da superfície exterior, a maioria dos edifícios que utilizaram o betão como material construtivo, acabaram por expressar a mesma linguagem formal que os edifícios anteriores de alvenaria de pedra ou de tijolo; não se aproveitando assim por um longo período as características de um material distinto e moderno.

Um exemplo excepcional da procura do carácter expressivo do material foi a realizado por William Henry Lascelles, no sistema que patenteou em 1875. O seu objectivo era reduzir o custo das casas e facilitar a sua construção, para que pudessem ser realizadas num curto espaço de tempo e sem recorrer a mão-de-obra especializada.

O sistema construtivo consistia na elaboração de painéis de fachada prefabricados em betão que se fixavam numa trama estrutural, em madeira, erguida previamente. Este conceito aparecerá pontualmente até à sua aceitação geral, após a Segunda Guerra Mundial.

Na concepção dos elementos prefabricados existia a preocupação com o aspecto da sua superfície, conseguindo Lascelles a coloração castanha das peças fabricadas, já que seria esta uma cor resistente às agressões climatéricas a que ficariam expostas.

Contudo, o engenheiro francês não aproveita a oportunidade para fazer algo inovador com o betão, limitando-se a imitar os velhos edifícios rústicos.

Nos sistemas desenvolvidos por Hennebique também é abordada a questão da verdadeira expressão dos acabamentos de superfície do novo material. Com esse intuito, foram experimentas técnicas com os agregados das superfícies dos elementos prefabricados à vista, havendo assim uma percepção dos elementos constituintes do material.

[17] MORRIS, A. E. J. – «*El Hormigón Premoldeado en la Arquitectura*», p.11.

Em definitivo, o arquitecto francês Auguste Perret introduziria uma nova linguagem na arquitectura construída a partir das potencialidades do betão armado. Um novo modo de conceber a estrutura, a *ossatura*, assumirá os elementos estruturais como constituintes activos na imagem do edifício. Esta atitude revolucionará os métodos de desenho da época, onde a estrutura era encerrada totalmente dentro de um muro de carga. A nova forma retomará o valor expressivo da estrutura, tal como o haviam feito os construtores góticos.

No edifício de apartamentos, localizado na rua Franklin nº 25, em Passy (França), realizado em 1902, o betão da trama estrutural deixa de ser um material dissimulado para fazer parte da linguagem do edifício. As superfícies exteriores foram bujardadas de forma a mostrar a estrutura interna do material. Com este exemplo Perret mostrou que o betão era um material respeitável no domínio arquitectónico, contrariando as ideias conservadoras do estilo neoclassicista ainda dominante na transição do século XIX para o século XX.

Mais tarde, em 1924, com a conclusão da igreja de Notre-Dame de Raincy (França), Perret confirmará a sua tendência arquitectónica baseada no princípio que o betão possui uma qualidade estética própria que deve ser explicitada.

Também para Le Corbusier o betão armado surgia como o elemento-chave da renovação arquitectónica. Discípulo de Auguste Perret, foi um dos arquitectos que, durante o século XX, tirou o máximo partido da utilização do betão armado. Grande parte da sua obra é caracterizada pela utilização particular desse material. Muitas das propostas formais devem-se à utilização do betão enquanto material estrutural e de acabamento. [18]

Arquitecto e artista plástico, Le Corbusier integra nas suas obras de arquitectura a componente escultórica e pictórica da obra de arte. O betão será o suporte preferido para essas experiências.

A ampliação da aplicação do betão à arquitectura, quer o realizado *in situ*, quer o prefabricado, deve-se em grande parte ao reconhecimento, por Le Corbusier, das propriedades expressivas e de plasticidade do material.

As experiências levadas a cabo estão bem patentes na Unidade de Habitação de Marselha construída em 1945, no intuito de

[18] Le Corbusier, mentor do Movimento Moderno Internacional, estabeleceu os cinco pontos para uma nova arquitectura: a construção sobre *pilotis*, elevada do solo, a cobertura terraço, a planta livre, a janela comprida e a fachada livre. Este programa só poderia ser cumprido com o betão como material construtivo.

resolver os problemas de habitação do período pós-guerra na França. O edifício é um exemplo perfeito da aplicação do betão em todas as suas vertentes: como material resistente assegura a estrutura primária que integra os *pilotis* ao nível do piso térreo e garante uma malha tridimensional superior onde serão depositados as células habitacionais; como *material arquitectónico*, o betão apresenta-se com o acabamento da textura das tábuas da cofragem utilizada. Mas o mais interessante para o estudo é a detecção da utilização do betão a outros níveis: o encerramento do edifício é alternadamente realizado por painéis prefabricados em betão e por caixilharia em madeira; os *brise-soleils* utilizados são peças prefabricadas de betão; os trabalhos em betão aparente constituem as formas cubistas do último piso.

Fig. 2.9 – Tratamento superficial dos elementos de betão, Convento de La Tourette.
Em, <URL:http://www.greatbuildings.com>

No campo dos acabamentos das superfícies de betão, as sucessivas experiências começam a dar origem a resultados mais voltados para o efeito decorativo da superfície do material estrutural. É exemplo disso, uma vez mais, um edifício de Le Corbusier: o convento de La Tourette (França), de 1960. Aqui, Le Corbusier utiliza pedras um pouco maiores, colocadas individualmente na matriz cimentícia, um processo distinto do utilizado na Unidade de Marselha em que as superfícies com agregados expostos fazem parte da matriz. Um dos exemplos em que a técnica de expor os agregados está mais apurada observa-se no Museu de Tóquio, cuja construção decorreu em paralelo ao do convento referido.
Estas diversas experiências realizadas pelo mestre do modernismo sobre o tratamento do betão enquanto material estrutural e como material expressivo devem ser reconhecidas como as mais inovadoras, estando na base da forte utilização que o betão como material arquitectónico sofreu na segunda metade do século XX.

O uso do betão armado permite, por um lado, a exploração dos acabamentos da sua superfície, utilizando as suas características como material composto. Por outro lado, a plasticidade e a trabalhabilidade do material possibilita a realização de uma panóplia de formas quase infinita.

As décadas de 50 e 60 foram eras de consolidação do interesse pelo betão, que revelava as suas potencialidades estruturais, escultóricas e o seu potencial arquitectónico.
O tema dos acabamentos da superfície do betão começou, nessa altura, a constituir motivo de preocupações na concepção arquitectónica. E, é o betão prefabricado que propicia a expansão do emprego de betões aparentes, pois quando se trata de superfícies à vista, o nível de qualidade exigido ao produto final alia-se a uma produção controlada, realizada em fábrica.

Um dos primeiros estudiosos do betão, A.E.J. Morris, no livro seu *«Precast Concrete in Architecture»* [19], escrito em 1978, refere que o principal papel do betão prefabricado é a sua utilização em forma de painéis, realizados em fábrica com processos industrializados, para o recobrimento não portante da trama estrutural do edifício, esta realizada *in situ* e independente do revestimento. [20]
Morris refere ainda que, um dos problemas inerentes a este sistema construtivo prende-se com o comportamento da superfície dos painéis prefabricados de betão, expostos à acção climatérica:

> «*Los acabados de hormigón pulido no se recomendabam debido a que la superfície se agrieta y progresivamente retiene partículas de suciedad; como tampoco eran recomendados los acabados blancos ya que "debe aceptarse que se conviertan en grises y com frecuencia en forma desigual, porque la base de cemento y arena recoge suciedad incluso aunque las partículas del agregado no la retengan". Por otra parte, se afirma confiadamente: "los acabados con agregado visto, dada la rugosidad de su textura, tienden a romper el flujo de agua a lo largo de la superficie, impediendo así que se creen manchas en forma de líneas definidas"*».[21]

Este processo construtivo apresenta, também, outros inconvenientes: para painéis apenas com a função de revestimento, o betão é um material demasiado pesado e com deficientes propriedades térmicas.

[19] MORRIS, A. E. J. – «*El Hormigón Premoldeado en la Arquitectura*», p.142.

[20] Deve-se acrescentar que esta solução havia já sido considerada pelo arquitecto francês Auguste Perret nas primeiras décadas do século XX.

[21] MORRIS, A. E. J. – «*El Hormigón Premoldeado en la Arquitectura*», p.143.

No entanto, o betão é um material que oferece excelentes propriedades de resistência mecânica, apresenta boas características ignífugas e, em relação aos elementos estruturais metálicos, tem custos inferiores. Assim, um dos caminhos seguidos, para potencializar essas características, vai no sentido de aumentar a *performance* dos painéis prefabricados, associando ao seu papel de encerramento a função de elementos estruturais primários, para compensar as suas outras deficiências. A incorporação de agregados leves na composição do betão vem minimizar, também, os inconvenientes associados ao peso elevado.

O betão como material moldável possibilita a realização de formas mais complexas, o que se torna motivo de interesse para arquitectos e engenheiros interessados no desenho de edifícios multicelulares.
O recurso à modelação tridimensional das fachadas dos edifícios, pela repetição disciplinada de elementos prefabricados, define uma nova linguagem arquitectónica.

Este processo construtivo acabou por ser abandonado, sem ter sido explorado o seu potencial plástico tridimensional. As exigências que lhe estavam associadas, quer ao nível de custo, pela diversidade de formas empregues, quer pela exigência de desenho e acompanhamento da obra, dada a complexidade e diversidade dos pormenores de juntas e fixações necessários, conduziu a soluções menos ambiciosas.

A incorporação no desenho de edifícios da tecnologia dos acabamentos do betão prefabricado limitou-se, então, à concepção de fachadas com efeitos de modelação tridimensional, mas a uma escala pequena. Numa perspectiva de redução de custos recorreu-se a moldes praticamente rectilíneos.

Se considerarmos o desenvolvimento de novas soluções de acabamento superficial do betão, será só durante a década de 70 que o betão prefabricado se afirmará no campo arquitectónico, libertando-se das imagens típicas do betão realizado *in situ*.

O betão prefabricado possibilita uma gama de acabamentos de superfície que não podem ser realizados num betão feito no sítio, quer pelo custo que representa, quer pela impossibilidade de proceder a um rigoroso controlo de qualidade do processo produtivo: questões essas que num sistema de produção em fábrica estão, à partida, asseguradas.

Outra das vantagens da utilização das técnicas de acabamentos ao betão prefabricado é a possibilidade da repetição e sistematização dos processos de fabrico dos elementos, rentabilizando os meios e aperfeiçoando as técnicas utilizadas, pela consolidação do conhecimento adquirido.

2.3 A situação portuguesa[22]

[22] Como complemento ao texto apresentado é fornecido em anexo um quadro cronológico com acontecimentos correlacionados com as obras referidas – Anexo I.

Depois de se ter feito um ponto de situação da evolução das questões relacionadas com o betão, no que se refere ao aproveitamento das suas potencialidades expressivas, deparamo-nos com o caso português, fortemente influenciado pelas experiências da denominada arquitectura racionalista, levada a cabo por de Le Corbusier e outros mentores do Movimento Moderno.

Na situação portuguesa, a adesão à lógica da máquina e a uma racionalidade construtiva decorrente da aplicação do betão armado, foi reservada sobretudo aos programas de carácter utilitário: estruturas industriais ou obras de engenharia (aproveitamentos hidroagrícolas, hidroeléctricos, pontes e viadutos) que tomaram o betão como material exclusivamente estrutural.
O betão armado dava resposta eficaz às exigências estruturais inerentes a este tipo de obras e, rapidamente, viria a substituir o ferro, que desde meados do século XIX constituía o material predilecto aplicável à construção das então novas infraestruturas urbanas.

O desenvolvimento do emprego do betão em território nacional enquadra-se em dois ciclos.

[23] TOSTÕES, Ana – «*Novos Materiais e Construção Moderna*», p.141.

O primeiro, a partir de 1920, «*coincide com o ciclo modernista apoiado nas possibilidades estruturais e plásticas do betão armado*»[23].
A arquitectura nas décadas de 20 e 30 é marcada pela exploração das possibilidades formais que o novo material permitia: volumes cúbicos, definidos por superfícies lisas e cobertura plana, desprovidos de qualquer ornamentação, puristas. Na concepção dos edifícios estão presentes a racionalização construtiva e o funcionalismo programático (Forma/Programa/Função) assentes nos modelos do Movimento Moderno europeu.
Este primeiro ciclo chegou ao fim no início da década de 40, altura em que às experiências modernistas se sobrepuseram

obras que traduziam uma nova imagem do poder conservador e autoritário do estado. As características dessas arquitecturas promovidas pelo Estado Novo fundavam-se num *estilo nacionalista*, inspirado em motivos da história portuguesa, particularmente na história da arquitectura da época das descobertas, em que embora utilizando o betão armado como material de construção, não eram aproveitadas as suas verdadeiras características expressivas.

[24] IBIDEM.

No segundo ciclo[24] retoma-se as experiências modernistas na exploração das potencialidades do material para além da sua função eminentemente estrutural. Num contexto marcado pela situação social e cultural do período pós-guerra o *acertar de contas* com a modernidade faz-se, de uma primeira forma, com a adopção, reflexão e posterior questionamento das premissas do Movimento Moderno, referenciadas a Le Corbusier e à arquitectura brasileira, através de personalidades como Lúcio Costa e Óscar Niemeyer. E, de uma segunda forma com a aquisição de uma maioridade cultural e técnica por parte dos arquitectos.

[25] Em 1955 inicia-se o denominado Inquérito à Arquitectura Regional Portuguesa, cujo trabalho de campo foi publicado em 1961. Neste trabalho que abrangeu o território nacional participaram eminentes arquitectos que mobilizaram as novas gerações.

Esse questionamento surge com a necessidade da procura de referências locais[25], da contextualização geográfica e cultural das obras produzidas, o que dará lugar a experiências muito ricas ao nível dos materiais empregues, onde se articulam as possibilidades das novas tecnologias com a utilização de materiais vernaculares. São exemplos desta nova forma de entendimento da arquitectura as primeiras obras do arquitecto portuense Fernando Távora, nomeadamente o pavilhão de ténis na Quinta da Conceição, em Matosinhos, e a casa de Ofir, em Esposende, assim como alguns equipamentos e bairros periféricos às grandes barragens durienses.

Numa fase inicial, o betão com função estrutural, torna-se aparente, havendo apenas uma preocupação de enriquecer o seu aspecto com a textura saída da cofragem utilizada.
No sentido tradicional, quando se fala de betão subentende-se que se está a tratar de um material com função estrutural, constituinte de um sistema construtivo e que ficará oculto após a obra concluída.

A designação de betão aparente, como o próprio nome indica, refere-se à visibilidade de um material à partida escondido, atribuindo-lhe um novo desempenho, o de acabamento.
Como refere Antero Ferreira: «(...), o betão aparente significa a sua presença e a sua comparticipação no dispositivo estético da edificação, por uma expressiva gama textural dos paramentos expostos, que a luz – permanente elemento modelador – activamente dinamiza ao longo do ciclo diário.»[26]

[26] FERREIRA, Carlos Antero – «*Betão Aparente em Portugal*», p.19.

É curioso notar que já no ano de 1910, no artigo «Detalhes de construção – superfícies vistas», fez-se uma descrição de como se deveria empregar o betão aparente, o então designado *formigão*:

> «*O formigão é um material que tem um carácter especial e não se deve empregar para imitar qualquer outro dos que se empregam na construção. Um dos problemas mais importantes em relação com as obras de formigão, é o aspecto que se há-de dar às superfícies vistas, o qual há-de ficar completamente resolvido antes de collocar o material na obra».*
>
> *«Nalgumas construcções é natural conservar a superfície do formigão tal como ficar depois de desmoldar, fazendo desapparecer ùnicamente os vestígios das juntas das taboas. N'alguns casos pica-se a superfície exterior com o fim de que desappareça a pequena camada de argamassa e fiquem visíveis as pedras. Procurar-se-há evitar, sempre que se possa, o reboco, porque apesar de que se faça com muito cuidado, ao fim de tempo, mais ou menos desapparece completamente.*» [27]

[27] Artigo citado em: FERREIRA, Carlos Antero – «*Betão Aparente em Portugal*», p.25.

Porém, o betão aparente apenas foi utilizado algumas décadas depois, por ser considerado um material ao qual não eram reconhecidas potencialidades plásticas (apenas estruturais) entre os arquitectos de formação académica conservadora, do tipo *Beaux Arts*.
Será só a partir dos anos 50 que surgirão algumas das experiências que traduzem uma nova compreensão das possibilidades expressivas do betão.

Fig. 2.10 – Betão *in situ* da piscina de marés de Leça da Palmeira.

Fig. 2.11 – Placagem em betão lavado, Igreja do Sagrado Coração de Jesus, Lisboa.

Fig. 2.12 – Sombreadores em betão premoldado, Edifício *Franginhas*, Lisboa.

O uso de técnicas de acabamento de superfícies em betão foi experimentado, na sua grande maioria, em betão realizado *in situ*, e são escassas as experiências produzidas em betão prefabricado. Esta situação torna-se clamorosa quando retiramos de cena os edifícios de carácter industrial. Assim, como exemplos de arquitecturas notáveis, precursoras na utilização do betão aparente, podemos referir as seguintes obras paradigmáticas:

a) A piscina de marés de Leça da Palmeira (1967), do arquitecto Álvaro Siza. Nesta construção utilizou-se o betão na sua expressão mais bruta, *fossilizando* as tábuas da cofragem na verdade expressiva da superfície do betão.

b) A igreja do Sagrado Coração de Jesus (1970), em Lisboa, dos arquitectos Nuno Teotónio Pereira e Nuno Portas. Tal como havia acontecido com a obra anterior, o betão assume a sua verdade construtiva, mas o trabalho de cofragem é mais cuidado introduzindo baixos-relevos escultóricos na superfície do material.

c) O edifício de escritórios *o Franginhas* (1969), em Lisboa, do arquitecto Nuno Teotónio Pereira. Aqui, recorre-se a painéis prefabricados de betão armado para criar um sistema de sombreamento da fachada. O desenho desses painéis e a sua disposição irregular na fachada fazem lembrar as rendas que ornamentam os tecidos; advém daí o seu popular apelido. Este exemplo era invulgar num meio ainda dominado pelo betão betonado no sítio e com função eminentemente estrutural.

Nos exemplos encontrados há um predomínio do emprego de betões realizados com cimento *Portland* cinzento normal e agregados pétreos comuns, que eram vazados em moldes, na maior parte das vezes, de madeira serrada, tirando-se partido da textura da cofragem.

São raros os exemplos em que são utilizados betões feitos com cimento branco, assim como o emprego de agregados específicos, cuidadosamente seleccionados.

Em relação ao tratamento das superfícies, na maior parte dos casos, não era aplicado qualquer produto de protecção e preservação, ficando o elemento de betão aparente tal como

ficava após a desmoldagem da cofragem. Há algumas soluções em que são empregues resinas sintéticas ou pinturas com tintas de emulsão plástica, atenuando os defeitos das superfícies descofradas e conferindo-lhe alguma protecção.

O período histórico que vai desde a década de 70 até 90 representa um hiato na investigação e produção teórica sobre as questões relacionadas com as qualidades de acabamento das superfícies em betão.
Outro factor a ter presente, na quebra deste percurso, prende-se com a crise energética, ocorrida na segunda metade da década de 70, e as preocupações ambientalistas, com a consequente viragem das políticas de investigação para novos materiais, abalando todo o mercado de produtos derivados directa ou indirectamente do petróleo.

Associadas também a estes factores estão as más experiências que foram realizadas com o betão e que por si só justificam a má conotação associada hoje ao material. O desconhecimento e a falta de domínio da técnica tiveram como resultado construções de má qualidade, e consequentemente, a condenação do sistema construtivo encabeçado pelo betão. Embora seja de salientar uma constante presença de boa arquitectura construída com betão aparente, o facto é que para a opinião pública sempre passaram as situações menos felizes. Um exemplo claro desta denegrição (que condiciona sempre o futuro de uma técnica), é o bairro habitacional de Vila d'Este, em Vila Nova de Gaia, construído no *sistema de túnel*, para dar resposta à crescente falta de habitação, e onde se direccionaram as técnicas para âmbitos da industrialização da construção. A falta de conhecimento sobre o sistema e o descuido no tratamento dos problemas térmicos e acústicos produziram um conjunto de edifícios de muito fraca qualidade.

Gradualmente, a má conotação do betão tem vindo a dissipar-se. Para esta renovação do material têm contribuído as campanhas informativas dos vários sectores ligados à indústria cimentícia e de pré-fabricação, e também uma maior sensibilidade e conhecimento técnico por parte dos projectistas. Os primeiros sintomas desta nova fase estão presentes em

Fig. 2.13 – Betão branco *in situ*, Casa da Música, Porto.

alguns dos edifícios implantados no antigo recinto da Exposição Mundial de Lisboa (1998): o Pavilhão do Conhecimento dos Mares, do arquitecto Luís Carrilho da Graça, em betão branco; o edifício-sede da *Vodafone*, do arquitecto Alexandre Burmester, também em betão branco. No entanto, a obra mais emblemática e que porventura poderá constituir a reconciliação derradeira do público com o betão enquanto material expressivo, é a Casa da Música do Porto (2005) do arquitecto holandês Rem Koolhaas.

Mas ainda há muito a explorar. Para se obterem bons resultados ao nível dos acabamentos de superfície do betão, é fundamental aliar o trabalho de investigação de arquitectos e artistas plásticos com o conhecimento adquirido, pela experimentação, pelas empresas do ramo sobre a composição e o domínio das técnicas de fabricação.

Os pontos fundamentais de debate, no panorama cultural contemporâneo, deixaram de se centrar nos próprios materiais e apontam essencialmente para os seus aspectos comunicativos e linguísticos. Aqui, as técnicas de tratamento de superfície, que já se alargaram às possibilidades de transferência de imagens planas, podem significar interessantes desafios projectuais.

2.4 Síntese das tecnologias de acabamentos empregues até à década de 70

Os aspectos relacionados com a produção e com o acabamento das superfícies foram, na década de setenta, preocupações da tecnologia do betão prefabricado. Dadas as inúmeras possibilidades de tratamento das superfícies que este material oferece, alguns autores sistematizaram e simplificaram essas capacidades, classificando-as quer pelo seu processo de execução, quer pela sua vinculação às técnicas e aos tipos de betão utilizados.

Em 1962, o engenheiro Tihamér Koncz classificou os tratamentos das superfícies, segundo a sua execução[28]:

1. Superfícies em que o molde serve de cunho (estampagem);
2. Superfícies enobrecidas mediante tratamento mecânico;
3. Tratamento químico das superfícies;
4. Pinturas e recobrimentos.

[28] KONCZ, Tihamér – «*Manual de la Construcción Prefabricada*», Tomo I, p.229

Antes de se passar à explicação de cada um destes métodos deve ser clarificada uma questão que é pertinente na execução dos vários tipos de acabamentos, e que se prende com as técnicas de premoldagem, distinguindo-as em: com a face para cima ou com a face para baixo.
Conforme o próprio nome indica, a técnica de premoldar com a face para cima mantém a superfície a acabar na face superior do molde, enquanto que a outra técnica supõe moldar a mesma superfície contra o fundo ou contra as superfícies interiores do molde.

(1) Superfícies em que o molde serve de cunho (estampagem): nesta situação é evidente que a técnica a utilizar é a de moldar a superfície contra as paredes do molde. Neste tipo de tratamento superficial, a natureza e a preparação do molde desempenham um papel preponderante, sendo os moldes em contraplacado, aço ou betão, os mais apropriados. As suas superfícies devem ser recobertas com resinas, naturais ou artificiais, ou revestidas com folhas ou

lâminas de plástico, para o caso de se pretenderem obter superfícies de betão lisas, sem poros e compactas. No caso em que se pretende uma superfície com relevos, são apropriados os moldes de plástico armado com fibra de vidro, já que permitem a modelação de qualquer tipo de relevo ou desenho. Podem obter-se outros tipos de relevos recorrendo a materiais diversificados tais como: madeira serrada, placas onduladas, etc.

(2) Superfícies enobrecidas mediante tratamento mecânico: neste processo construtivo Koncz distingue duas possibilidades de execução: sobre o betão húmido ou sobre o betão endurecido. No tratamento mecânico de uma superfície, quando o betão está húmido, trabalha-se a face do painel que ficará à vista, que está na parte superior do molde, acessível à realização dos trabalhos. Este tipo de tratamento consiste no alisamento da superfície húmida com placas ou tubos de aço, no alisamento à colher ou à talocha, ou ainda, na utilização de escovas, pincéis ou outros utensílios semelhantes. Este processo tem a vantagem de ser de simples execução.

Em relação ao tratamento mecânico do betão endurecido este pode ser realizado mediante:
a) Lavagem com água das partículas mais finas pouco tempo depois de betonar – no caso em que a superfície que ficará à vista esteja contra o molde pode-se, durante a fabricação, misturar barro com a gravilha escolhida para a capa da superfície ou mesmo retardadores de presa;
b) Uso de jacto de areia, que consiste num processo semelhante ao descrito anteriormente mas, mais agressivo, provocando uma maior acção erosiva que origina superfícies mais lisas;
c) O trabalho da superfície de betão, através de bujarda ou outros utensílios mecânicos do género.

(3) Tratamento químico das superfícies: neste caso aumenta-se a solidez da superfície, tornando-a resistente aos ácidos, ou se intensifica a coloração pela impregnação de ácidos na superfície.

(4) Pinturas e recobrimentos: estas soluções podem ser executadas sobre o betão húmido ou sobre o betão endurecido. As pinturas ou vernizes são aplicados, *a posteriori*, por pulverização ou por projecção, o que confere ao betão uma protecção superficial. Quanto aos recobrimentos, são inúmeras as possibilidades de aplicação e têm a ver, essencialmente com a concepção desejada. Este processo não vai ao encontro dos requisitos de uma produção industrializada, já que a colocação dos materiais de recobrimento, de natureza não cimentícia (azulejos, gravilha, fragmentos de mármore, etc.) são colocados manualmente no fundo do molde ou na face superior. No processo de recobrimento deve-se verificar que os materiais não se desloquem durante o processo de fabrico.

O autor inglês Morris já citado, pela observação e análise de resultados práticos elaborados até 1978, onde tinham sido aplicadas determinadas técnicas de fabricação na produção dos diferentes tipos de tratamento das superfícies, resume num quadro síntese a «matriz para simplificar a descrição das combinações possíveis a partir dos diferentes tipos de betão e dos acabamentos de superfície». [29]

[29] Para um estudo mais aprofundado ver quadro apresentado em: MORRIS, A. E. J. – «*El Hormigón Premoldeado en la Arquitectura*», p.160.

Assim, nesse quadro são agrupados os tipos de acabamentos em:

1. Acabamentos com agregados expostos;
2. Acabamentos com revestimento de agregados;
3. Acabamentos modelados e com textura;
4. E, acabamentos com recobrimentos.

Da análise do quadro é possível, ainda, extrair quais as principais técnicas utilizadas no processo de fabricação dos três primeiros tipos de acabamentos, como também as possibilidades da aplicação de diferentes materiais, de natureza não cimentícia, na superfície dos elementos premoldados no caso do recobrimento.

Morris esquematiza as principais diferenças entre um acabamento com agregados expostos ou com revestimento de

agregados. Enquanto que nos acabamentos com agregados à vista, são expostos os grãos mais superficiais do mesmo agregado utilizado em todo o resto do elemento premoldado, nos acabamentos com revestimento de agregados recorre-se a um agregado seleccionado, diferente do que constitui o betão, com granulometrias que podem ser superiores, já que o seu tamanho não interfere com as armaduras interiores, e disposto no molde segundo a vontade do projectista.
Qualquer processo de obtenção destes dois tipos de superfícies supõe o emprego de técnicas utilizadas para remover a capa superficial de cimento e areias, tais como:

1. Lavagem com água;
2. Retardadores;
3. Aplicação de ácidos;
4. Remoção mediante abrasivos.

Em relação aos acabamentos texturados, o autor refere três técnicas para os obter: a utilização da textura do molde, as superfícies tratadas em estado húmido e as superfícies tratadas em estado endurecido, também explicadas por Koncz.

O acabamento com revestimentos destaca-se dos anteriores por utilizar apenas o betão como material de suporte das capas superficiais exteriores compostas, como já foi referido, por materiais de revestimento essencialmente não cimentícios, agrupados em: mosaicos, azulejos, ladrilhos, pedras naturais e plásticos, estes últimos ainda uma possibilidade teórica, dadas as dificuldades impostas pelas grandes diferenças de variação dimensional à temperatura que tem os plásticos e os diversos tipos de betão de base.

Em 1973, um outro estudo, desenvolvido pela organização americana *Precast Concrete Institute* (PCI), deu origem à elaboração de um manual que contém as linhas mestras e as recomendações pertinentes de desenho, detalhe e especificações do que denominam de *betão arquitectónico*.
Neste guia, numa primeira fase, é feita uma síntese das várias possibilidades de acabamentos de superfície no que se refere a cores e texturas. Posteriormente, são abordadas as questões relacionadas com os diferentes métodos para obter esses

acabamentos, assim como informação relacionada com a sua fabricação.

Em relação às cores, o PCI considera que uma superfície em betão pode obter coloração, quer pelo aproveitamento das características dos elementos que constituem a mistura do betão, quer pela adição de pigmentos na matriz cimentícia.

No primeiro caso, e quando se pretende um betão com um aspecto uniforme, a cor é obtida através da cor do cimento que pode ser cinzento, branco ou uma mistura dos dois. A utilização do cimento branco tem vantagens em relação aos resultados obtidos, já que garante a uniformidade da cor à superfície e apresenta uma menor diferença de tonalidade quando sujeita à acção climatérica. O cimento cinzento tem a vantagem de ser menos dispendioso, tem um comportamento melhor no que respeita à susceptibilidade a sujidades, porém uma superfície realizada com este cimento está sujeita a variações da sua cor, principalmente se a matéria-prima for proveniente de fabricantes distintos. Quando a opção tem por base a mistura dos dois cimentos, a uniformidade é tanto maior quanto maior for a percentagem de cimento branco, sendo a cor cinzenta sempre dominante.

No caso em que a superfície é tratada através de processos como o jacto de areia, retardadores, etc., a cor depende dos agregados finos e grossos constituintes da matriz. Como, na sua grande maioria, são utilizados agregados naturais é necessário tomar algumas precauções na sua escolha, já que a uniformidade da cor está directamente relacionada com esses ingredientes.

Assim, os critérios para a selecção dos agregados devem depender de algumas exigências:

1. Os agregados devem satisfazer os requisitos de durabilidade, estar livres de impurezas e ter a forma adequada à elaboração de um bom betão;
2. A decisão da escolha deve ser suportada com amostras realizadas pelo fabricante, para que o projectista tenha a percepção do produto acabado, já que alguns dos

processos utilizados na fabricação alteram o aspecto dos agregados;
3. Ter em atenção os factores da luz, determinantes na modelação das superfícies, na apropriação da matriz à característica dos agregados;
4. Ter em consideração a acção das condições atmosféricas.

Em relação à adição de pigmentos na matriz, para a obtenção de cor, devem ser tidas em consideração algumas questões, que podem constituir um sobre custo mas que garantem a qualidade pretendida:

1. Qualidade e quantidade do pigmento;
2. Características de descoloração do pigmento;
3. Dosagem e mistura com o betão;
4. Qualidade dos agregados finos e grossos;
5. Quantidades uniformes e a graduação dos materiais finos;
6. Atenção com os ciclos de cura;
7. Tipos e cor do cimento;
8. A presença constante de água;
9. E, consideração sobre os factores que possam contribuir para a existência de eflorescências.

À semelhança do processo de obtenção da cor recorrendo aos agregados, devem ser realizados protótipos dos vários acabamentos coloridos, para, através da experimentação, se chegar ao resultado pretendido.

Nas texturas, o PCI faz uma sistematização das possibilidades de acabamento e arrisca agrupá-las mediante o seu custo, estando cientes, porém, das variações que o preço pode ter de fábrica para fábrica. Assim, começando pelos mais económicos temos:

1. Superfícies alisadas;
2. Superfícies com agregados expostos, em que é utilizada a técnica de lavagem com água, o emprego de retardadores, ou o jacto de areia;
3. Superfícies obtidas pela textura do molde;
4. Superfícies com agregados expostos, recorrendo ao ataque com ácido; acabamentos recorrendo à bujarda;
5. Superfícies com recobrimentos cerâmicos;

6. Superfícies polidas e paramentos chapeados com pedra, este o mais dispendioso.

Os acabamentos com agregados expostos são os mais usados por apresentarem um custo razoável e possibilitarem uma grande variedade de aspectos, dada a infinidade de agregados e de matrizes disponíveis.
As técnicas empregues para a obtenção de superfícies com agregados expostos permitem a realização de vários graus de exposição dos agregados:
- Exposição ligeira. Quando se elimina apenas a camada superficial de cimento e areia, o suficiente para expor as bordas dos agregados grossos mais superficiais;
- Exposição média. Quando após a eliminação de cimento e areia os agregados grossos estejam em igual proporção de superfície que a matriz;
- Exposição profunda. Nesta situação os agregados finos foram removidos de tal maneira que os agregados grossos formam a maior parte da superfície.

As superfícies com cor e/ou com texturas podem ser obtidas em diferentes fases:
- Antes da moldagem, em que o acabamento é originado directamente pela superfície do molde;
- Através de tratamentos após a moldagem, em que o acabamento é conseguido durante o processo de fabrico.
- E, depois da cura com o tratamento com ácido, pintura, jacto de areia ou polido.

Em Portugal também foram escritos artigos que abordam as questões relacionadas com o acabamento das superfícies em betão. O engenheiro Sousa Coutinho, no segundo volume de «*Fabrico e Propriedades do Betão*» [30] faz uma descrição dos tipos de superfície de betão à vista e os meios e técnicas para as realizar.

[30] COUTINHO, A. de Sousa – «*Fabrico e Propriedades do Betão*», Volume II, p.165 a 171.

Das inúmeras possibilidades são referenciadas:
1. Superfície acabada com bujarda. Este trabalho é realizado sobre o betão endurecido e o resultado obtido, mais ou

menos grosseiro, depende do número de dentes da bujarda e da dureza dos inertes.

2. Superfície com o inerte aparente. Neste tipo de acabamento a cor dos inertes é significativa no resultado que se pretende obter. Pode ser realizada logo após o início de presa do betão, no caso do paramento que ficará à vista estar na parte superior do molde, pela escovagem da superfície para retirar a camada superficial. Ou realiza-se moldando o betão contra o molde, utilizando um retardador de presa, para facilitar a posterior remoção da camada superficial de betão, para deixar o inerte à vista. Também pode ser tratada pelo uso de jacto de areia, desde que o tratamento seja realizado antes que o betão se torne muito duro.
3. Superfícies obtidas sem tratamento do betão à vista. O exemplo mais comum é a reprodução da textura da estrutura da madeira que constitui as cofragens. Neste tipo de acabamento é indispensável assegurar, desde o início, todas as exigências de qualidade no que se refere à escolha dos componentes e moldes, à supervisão do processo de fabrico, etc. para que o resultado obtido vá de encontro ao estipulado no projecto, já que qualquer defeito não é susceptível de ser corrigido, a não ser pela execução de uma nova peça.

2.5 A situação actual: a aplicação na arquitectura – entre a arte e a tecnologia

> «*La arquitectura consiste en establecer relaciones emotivas mediante el uso de materiales en bruto. La arquitectura es un hecho plástico. (…) Como la arquitectura es el juego sabio, correcto y magnífico de los volúmenes reunidos bajo la luz, el arquitecto tiene por misión dar vida a las superficies que envuelven esos volúmenes».* [31]

[31] LE CORBUSIER - «*Hacia una Arquitectura*», p.25.

O sentido de superfície deixou de ser uma aplicação directa das propriedades tradicionais do material e passou a ser estudado autonomamente, de forma a produzir nos materiais tradicionais uma nova expressão. Esta tendência deve-se ao facto de, actualmente, a linguagem arquitectónica estar fortemente virada para uma comunicação mediática, através de imagens.
Assim, o trabalho com a matéria e com a superfície dos materiais converte-se num trabalho essencial, deixando, por vezes, o trabalho com a estrutura para segundo plano.
Tradicionalmente, o emprego dos materiais estava enraizado num saber ancestral, fruto de um percurso de permanentes experiências directamente estabelecidas com a matéria. Contudo, num processo de aceleradas mudanças e de novas possibilidades tecnológicas, a pertinência e a evolução dos materiais depende cada vez mais das suas capacidades de responderem e adaptarem-se a essas dinâmicas contemporâneas.

> *«Un material sensible, por definición, es aquél que responde a los estímulos de una influencia "exterior". Actualmente, las cualidades de los materiales que más despiertan la curiosidad de la arquitectura son precisamente aquellas que son más inestables, aquellas que son capaces, por sus mismas propiedades, de transformarse de una condición a otra, de aparentar ser cosas distintas y, de esta forma, poner en cuestión las definiciones de la condición absoluta del material. Estas propiedades de los materiales, casi propias de la alquimia, son las que mejor reflejan las características dinámicas y cambiantes que buscan los medios de comunicación.»* [32]

[32] KENNEDY, Sheila – «*La presencia material. El entorno de lo real.*», A+T nº15, p.26.

Figs. 2.14 – Fotogravação em betão, Biblioteca da Escola Técnica de Eberswalde. Em, A+T nº14, p.15.

Figs. 2.15 – Painéis serigrafados no Pavilhão Polidesportivo de Pfaffenholz. Fotografia cedida pela Arqª. Luísa Correia.

[33] Imagens recolhidas do 'diário visual' de Thomas Ruff, uma colecção de recortes de fotografias de periódicos que acompanhavam artigos publicados entre os anos de 1981 e 1991.

Cabe ao arquitecto inventar novas definições e usos para um material, desviando-o das suas aplicações correntes. Esta atitude conceptual pode ser enquadrada em algumas tendências contemporâneas da forma arquitectónica.

Um exemplo notório desta tendência é a biblioteca da escola técnica de Eberswalde (Alemanha) projectada pelos arquitectos suiços Jacques Herzog e Pierre de Meuron, em que a *pele* do edifício assume um carácter representativo da função e do significado público que tem uma biblioteca.
Com a colaboração do fotógrafo de arte alemão Thomas Ruff, foram seleccionadas imagens alusivas a diversos assuntos (políticos, económicos, culturais, científicos e históricos), representativos dos temas que preocuparam a sociedade alemã em determinado período de tempo[33]. Estas imagens foram, depois, impressas nos painéis que constituíram a fachada, estimulando assim a consciência histórica e social do homem.
As superfícies impressas, tanto dos painéis prefabricados de betão como dos panos de vidro que revestem o edifício, apresentam-se como um pano semiótico, funcionando como um convite gráfico ao programa que se desenvolve atrás dele.
A superfície impressa é composta por dois estratos: a camada superficial, suave e brilhante, representa as partes mais claras da imagem; e, o fundo da imagem, que é mais escuro e rugoso, já que sofreu uma erosão, devido à acção do retardador sobre o aglomerante.
O procedimento usado nesta obra já tinha sido experimentado no pavilhão polidesportivo de Pfaffenholz, construído em 1993 em Saint Louis (França). Pela primeira vez foi aí usada uma nova técnica fotográfica para a impressão em superfícies de betão, em que parte da superfície dos painéis em betão foi limpa com jacto de água ou areia, deixando um acabamento rugoso e profundo.

A técnica de fotogravação em betão tem sido também desenvolvida pelo artista plástico sueco Mikael Göransson. Colaborador do arquitecto Tage Hertzell, Göransson conduziu a sua actividade desenvolvendo novas aplicações e técnicas de transferência de imagens bidimensionais através da fotogravação das superfícies de betão. Esta técnica de

Fig. 2.16 – Painéis em betão fotogravado na Estação de Metro de Estocolmo. Fotografia cedida pelo autor.

acabamento de superfícies em betão resulta da combinação de diferentes técnicas empregues na sua produção: fotografia, imagem digital, impressão gráfica e, a técnica específica, ligada ao fabrico do betão.
A primeira obra deste autor foi a Estação de Metro de *Stadshagen*, realizada no ano de 2003 em Estocolmo (Suécia), onde realizou um painel em betão fotogravado.

As técnicas exemplificadas nestas obras – a fotogravação de imagens na camada superficial do betão – constituem uma das linhas de investigação do presente trabalho, por se considerar ser uma forma inovadora de potenciar o betão à vista. Quanto a este tipo de técnicas, nota-se uma escassez de exemplos realizados e, consequentemente, uma falta considerável de informação técnica.
Complementando estas novas capacidades do betão enquanto material de acabamento, descrevemos a seguir outras experiências igualmente potencializadoras de novas leituras do emprego do betão na arquitectura.

Fig. 2.17 – Betão pigmentado do Edifício de Exposições da Colecção Oskar Reinhart, em Winterthur. Em, A+T nº14, p.38.

Outra forma interessante de tratamento superficial do betão é a demonstrada na ampliação e renovação do edifício que alberga a colecção Oskar Reinhart, em Winterthur (Suiça) e na central ferroviária de Zurique (Suiça), dos arquitectos Annette Gigon e Mike Guyer.
Estes edifícios realizados em 1998 e 1999, respectivamente, impõe ás fachadas o efeito *camaleão*, pelo uso na composição do betão de um agente químico sensível que modifica a aparência e a cor da superfície, simulando o edifício no meio que o envolve através da coloração. Este efeito é denominado por alguns críticos como *síndroma de Zelig*, por analogia ao comportamento de Leonard Zelig, um personagem do filme de Woody Allen de 1983 que alterava a sua personalidade conforme o tipo de pessoas que encontrava, de modo a passar despercebido na realidade social que o envolvia.
No caso do edifício de exposições do escritório Gigon & Guyer, para produzir o fenómeno enumerado, foi adicionado ao betão pó de uma pedra local e cobre (dois dos materiais mais comuns na vila) com o objectivo do edifício, através do processo químico previsto e com o passar do tempo, adquirisse uma pátina devida

Fig. 2.18 – Betão pigmentado do Edifício da Central Ferroviária de Zurique. Em, A+T nº14, p.39.

Fig. 2.19 – Experiências executadas com betão e fibra óptica, tipo LITRACON.
Em, < URL: http://www.litracon.hu>

.

à oxidação destas duas substâncias pela acção da luz.
Também, na central ferroviária de Zurique, os mesmos arquitectos, prevendo a acção do pó produzido pelos comboios a travar, conceberam um betão composto por óxido de ferro, um pigmento com a mesma base química da substância libertada. Desta forma conseguiram acelerar a cor do betão aproximando o tom do edifício da envolvente.

O betão é um material compósito e como tal a manipulação das suas propriedades confere-lhe a possibilidade de transformação. Um outro exemplo paradigmático que ilustra essa capacidade de assumir diferentes aspectos é o sistema inventado, em 2001, pelo arquitecto húngaro Áron Losonczi, patenteado como *LITRACON: light transmitting concrete*. Trata-se de levar ao extremo a necessidade de tornar o material transparente, libertando-o do conceito pré-definido de material opaco.
A técnica consiste na introdução de fibras ópticas na matriz do betão, integrando-as como componente do material, sob a forma de agregados finos na proporção de 4% do seu volume, conferindo-lhe propriedades de transmissor de luz.
A transparência advém das zonas do betão onde se concentram as fibras. Assim, quando as superfícies se encontram em contraluz, deixam transparecer um animado jogo de sombras.

Por fim, outra investigação que conduziu a um novo tratamento do betão foi a da empresa japonesa *Mitsubishi Materials* que patenteou, em 2004, um bloco de pavimento ecológico – sistema *NOXER*. A peça foi realizada em betão prefabricado que, através de uma reacção fotocatalítica, absorve os poluentes atmosféricos à base de óxidos de nitrogénio. Ainda que, em termos de aspecto físico, o betão assim tratado não apresenta particulares qualidades, é um facto que, através da sua superfície, se induz um processo importante na vida contemporânea.

Estas novas tecnologias de tratamento da superfície do betão estão a induzir um processo de curiosidade pública sobre os edifícios que as utilizam. Sabemos que em arquitectura a aposta no tecnologicamente complexo e inovador constitui normalmente um factor de sedução social e política, pois se por

um lado a novidade funciona continuamente como factor de curiosidade, por outro a condição de ser tecnológico é mediaticamente tomada como modelo de um grau civilizacional superior. Assim, nas dinâmicas culturais da contemporaneidade, as inovações (por vezes bizarrras) sobre a superfície de um material, que também é vantajoso estruturalmente, poderá potenciar em pleno todo o significado cultural e técnico que sempre o betão patenteou.

CAPÍTULO 3 | Tecnologias de fabrico do betão arquitectónico

3.1 As tecnologias de acabamentos

3.1.1 Considerações gerais

O betão é simultaneamente material e técnica construtiva. Muitas vezes é-lhe associado o conceito de *pedra natural*, por ser constituído por inertes de dimensões relativamente pequenos, agregados por um ligante que mantém a forma do conjunto e lhe confere solidez. Sendo um material composto[1], para ser constituído pressupõe o emprego de técnicas de produção, conferindo-lhe enormes possibilidades na manipulação e exploração das formas e dos diversos acabamentos da sua superfície, o que o torna singular na família dos materiais de construção.

O aspecto final das superfícies depende do tipo de constituintes do betão – cimento, água, areia, agregados e aditivos - e da relação entre eles, da grande variedade de moldes que podem ser usados, das diferentes técnicas de moldagem (orientação das superfícies expostas durante o fabrico e procedimentos de compactação), etc.

Os cimentos devem ser conforme a norma NP EN 197-1, e a sua cor, branca ou cinzenta, é determinante na cor da superfície acabada. Os agregados finos participam fortemente na cor do fundo e os agregados grossos aparecem, mais ou menos, dependendo do tipo de tratamento aplicado à superfície. Com a adição de uma numerosa gama de pigmentos minerais de ferro, de crómio ou de cobalto, ou até mesmo de titânio - em casos particulares para se obter superfícies muito brancas - é possível modificar a cor da matriz original.

Assim, o arquitecto tem à sua disposição uma série de possibilidades para o desenho: para além da forma dos elementos, dispõe de uma gama infinita de cores e texturas para o tratamento das superfícies em betão, pelo que se torna necessário o conhecimento das variáveis possíveis para a compreensão global da capacidade do betão e assim saber usá-lo.

[1] O betão é um material heterogéneo, composto por uma mistura proporcionada de cimento, água, britas e areias de dimensões variáveis (de forma a minimizarem os vazios entre elas), e eventualmente, adjuvantes com objectivos especiais, como o controlo da trabalhabilidade, da retracção, etc. O facto do betão ser constituído por diversos materiais em proporções diferentes tem consequência na sua aparência e classe de resistência.

A via da experimentação é o caminho a ser seguido desde a fase de concepção do projecto de forma a criar uma gama de hipóteses de trabalho, possibilidades de execução e permitir o estabelecimento de especificações técnicas adequadas aos objectivos a atingir.

A aplicação de tecnologias de betão à vista está associada ao cumprimento de certos objectivos tais como:
- atingir soluções plásticas satisfatórias que vão de encontro com o estipulado em projecto;
- eliminar os revestimentos de acabamento;
- e, garantir a inalterabilidade da aparência das superfícies, fazendo-as durar de acordo com a vida útil esperada dos edifícios, minimizando os seus custos de manutenção.

Para a concretização desses objectivos torna-se necessário proceder de forma cuidadosa em todas as fases do sistema projectual e produtivo:

1. Na concepção arquitectónica com a definição da forma, cor, acabamentos da superfície e técnica construtiva utilizada. A escolha do tipo de acabamento pretendido deve estar definido à partida, já que condiciona a escolha da composição do betão, o tipo de cofragem e o seu processo construtivo. Deve ser pensada a técnica construtiva a empregar: o recurso à prefabricação, a elaboração dos elementos *in situ* ou o emprego de soluções mistas. Neste caso é preciso ter em atenção as diferenças de aparência entre os dois tipos de peças, já que as produzidas no estaleiro da obra dificilmente atingem os níveis de qualidade e o grau de homogeneidade de superfície que são conseguidos na fabricação das peças em fábrica. No caso da moldagem dos elementos *in situ*, deve ser definido o sistema de cofragem, a sua estereotomia e os planos de betonagem, de forma a garantir que as juntas estejam de acordo com as pretensões do projectista.

2. Na concepção estrutural, com o estudo da composição e correcta escolha dos materiais a incorporar no betão, assim como os cuidados a ter com as armaduras e cofragens. É fundamental adequar o tipo de betão ao tipo de

acabamento pretendido. Actualmente já estão estudados diferentes tipos de betão, desde extra-leves, que se podem utilizar em prefabricados ligeiros, até betões de alta resistência, betões especiais como os auto-compactáveis[2], os reforçados com fibra de vidro de sigla GRC[3], betões com polímeros, etc. O seu emprego depende de projecto para projecto, dada a necessidade de adequar o tipo de betão à forma que se pretende realizar, às consequentes necessidades estruturais e à intenção do projectista quanto à expressão plástica das superfícies. Outro factor a ter em conta é a compatibilidade entre a solução de acabamento pretendida e os custos que acarreta a sua realização, muitas vezes incomportáveis em termos de viabilidade económica.

3. Durante o processo de execução, em especial na fase de moldagem, betonagem, compactação e desmoldagem, como também na adequação do sistema de cura, limpeza e protecção das superfícies, através da aplicação de hidrófugos de superfície, *antigrafitti*, etc. A qualidade das cofragens é decisiva para a obtenção da qualidade das superfícies de betão, sobretudo quando o acabamento é o resultado da sua textura. Nos casos em que após a desmoldagem se procede ao tratamento do betão através de processos mecânicos, ou outros, a cofragem assume um papel de menor relevância. Mais à frente serão abordadas as questões fundamentais que se prendem com as cofragens.

4. No armazenamento, transporte e montagem, no caso de se tratar de pré-fabricação de elementos.

3.1.2 As técnicas correntes

Das técnicas mais correntes para o tratamento de superfícies em betão aparente destaca-se o recurso à coloração do betão e à manipulação da textura da sua superfície. Esta última, possível pelo desenho e constituição da cofragem ou, então, numa fase posterior à secagem, pela utilização de meios mecânicos de que são exemplo o jacto de areia, a bujarda, o polimento, etc., incutindo uma determinada textura nas superfícies.

[2] Que permitem a supressão da fase de vibração, evitando riscos de segregação e defeitos de acabamento. Para um estudo mais aprofundado consultar a tese de Mestrado: NUNES, Sandra – «*Betão Auto-Compactável: tecnologia e propriedades*».

[3] GRC é a sigla adoptada para designar betão reforçado com fibra de vidro. Para uma informação alargada consultar a tese de Doutoramento: FERREIRA, João Paulo – «*Caracterização estrutural do betão reforçado com fibras de vidro (GRC)*», p.9-52.

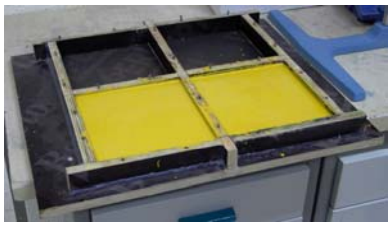


Fig. 3.1 – Amostras de um betão colorido realizadas no laboratório da *SECIL*.

3.1.2.1 A cor

Quando se opta por um betão colorido, a escolha recai, normalmente, sobre um acabamento liso, em resultado dos painéis que constituem a cofragem, ou seja, a superfície de acabamento não está submetida a qualquer tratamento depois de ser removido o molde, tem uma *pele* composta pelos elementos finos do material.
São estes agregados finos que determinam a cor da superfície do betão, tendo os agregados grossos pouca influência na cor. Esta torna-se mais intensa e dominante em função do diâmetro dessas partículas finas.

A diversidade de cores que se podem obter no betão provém de um cruzamento de possibilidades infinitas entre os agregados finos, o uso de pigmentos e o tom do cimento. Estes três componentes podem ser usados em conjunto ou isoladamente.

No caso do recurso exclusivo aos elementos finos - dos quais se destacam os fíleres[4] - a coloração obtida é pouco intensa e as cores reduzem-se a cores pastel. Outra questão prende-se com a variação do fornecimento destes constituintes que, dado serem de origem natural não se consegue garantir a continuidade das suas características ao longo dos vários fornecimentos.
Da oferta de fíleres coloridos disponíveis no mercado português os mais colorantes são:

[4] Os fíleres são desperdícios provenientes da extracção nas pedreiras, sob a forma de pó, aproveitados na composição do betão para o enriquecimento da percentagem dos elementos finos que constituem a sua matriz.

COR A OBTER	TIPO DE FÍLERES A EMPREGAR
Branco	Mármore branco; areia de quartzo branca; calcários brancos
Amarelo	Calcário oolítico amarelo; calcário de Porto de Mós; mármores amarelos (amarelo negrais, ataíja, etc.)
Castanho	Calcário oolítico ferroso
Vermelho	Pórfiro; tijolo moído
Verde	Xisto verde
Preto	Ardósia; basaltos
Cinzento	Granitos

Quadro 3.1 – Exemplos de tipos de fíleres a empregar para a obtenção de várias colorações do betão. (Laboratório da *SECIL*).

É de notar que a introdução da percentagem de fíleres na composição do betão deve ser estudada para que não haja a redução da resistência exigida ao betão. Outro factor importante é a não utilização de pedras alteradas, dado que poderão afectar a qualidade do resultado pretendido.

No caso de se adicionar pigmentos ao ligante, o processo é muito mais eficaz e menos dispendioso que o apresentado na solução anterior. Já se encontram disponíveis no mercado uma ampla gama de pigmentos que independentemente do número de fornecimentos mantém as suas características inalteráveis, assegurando-se a continuidade de uma determinada cor.
Os pigmentos a empregar devem ser quimicamente estáveis, frente ao meio alcalino criado pelo cimento e insensíveis às influências climáticas. Os pigmentos inorgânicos, à base de óxidos metálicos (óxido de ferro, crómio, ou cobalto) são os mais eficazes por serem mais duráveis quando expostos à radiação solar.

Mediante a cor que se pretende obter, destacam-se no Quadro 3.2 os pigmentos disponíveis no mercado:

Fig. 3.2 – Pigmentos à base de óxidos metálicos. Fotografia tirada de: NUNES, Ângela – «*O Futuro do Betão: as potencialidades por descobrir*», 1º Seminário Avançado de Arquitectura em Betão.

COR A OBTER	TIPO DE PIGMENTO
Branco	Óxido de titânio
Amarelo	Óxido de ferro amarelo; Ocre (mistura de óxido vermelho de ferro com hidróxido de ferro)
Castanho	Óxido de ferro; mistura de sesquióxido de ferro com bióxido de manganésio
Vermelho	Óxido vermelho de ferro; sesquióxido de ferro
Verde	Óxido verde de crómio; hidróxido verde de crómio; ftalocianina
Azul	Azul de cobalto; Azul ultramarino (silicato complexo de sódio e de alumínio, com enxofre combinado)
Preto	Negro de fumo; óxido de ferro preto; bióxido de manganésio; silícia

Quadro 3.2 – Exemplos de tipos de pigmentos a empregar para a obtenção de várias colorações do betão. (Laboratório da *SECIL*).

A dosagem dos pigmentos condiciona a cor a atingir, pelo que se torna necessário o recurso à experimentação para encontrar a coloração pretendida.
As cores mais claras podem ser obtidas pela adição de 0,2% a 1% de pigmento em relação ao peso do cimento. Nas cores mais escuras os valores estão compreendidos entre 5% a 7% de pigmento. A adição de maiores quantidades de pigmento traduzir-se-ia em desperdício, já que não provoca qualquer

Fig. 3.3 – A diferença de tonalidade resultante do emprego de cimento cinzento (à esquerda) e de cimento branco (à direita) com a mesma percentagem de pigmento (3%). Catálogo de pigmentos inorgânicos da '*BAYFERROX*'.

expressão na cor do acabamento.
A escolha do cimento tem uma grande influência no tipo de cor obtida. O mesmo pigmento usado em misturas constituídas com cimento branco ou com cimento cinzento dão origem, respectivamente, a superfícies com cor mais luminosa e intensa, ou a superfícies mais cinzentas e escuras.
O emprego do cimento branco nas composições do betão está condicionado pelo custo que lhe é associado, superior ao de um cimento normal, embora os resultados sejam mais satisfatórios, pois quando se emprega o cimento cinzento, a cor do pigmento não transparece para a cor da superfície, já que é a cor do óxido metálico, que faz parte da constituição do cimento cinzento, que aparece. Além disso, esta substância é variável dependendo do tipo, da classe e do fabricante, o que se traduz em variações da cor. Assim, torna-se mais adequado o uso de cimento branco para este tipo de acabamentos. O cimento cinzento adapta-se melhor a acabamentos em que a superfície é texturada e no caso das cores muito escuras, já que estas diferenças de tonalidade não são perceptíveis.

Outro factor de influência é a relação de proporção entre água e cimento. Uma pequena variação é suficiente para haver diferença na claridade da cor. Se os betões não apresentarem uma consistência fluída, os pigmentos terão muito maior dificuldade em se dispersarem, além da aplicação do betão ser difícil e, logo, apresentar elevado risco de surgirem danos e deficiências do efeito parede. Por outro lado, se na amassadura a quantidade de água for abundante para permitir a fluidez do material durante a betonagem, corre-se o risco da formação de manchas e escorrências, o que compromete o acabamento pretendido.
Actualmente, a adição de adjuvantes químicos permite a redução da quantidade de água empregue durante a amassadura, minorando os efeitos indesejáveis no acabamento das superfícies.

A introdução de cor num betão com uma composição corrente não produz resultados satisfatórios, já que as tonalidades obtidas são pouco intensas, mesmo com a introdução de elevadas dosagens de pigmentos. São frequentes manchas, até

com a utilização de cimento branco e, é notória a falta de homogeneidade das superfícies. Este tipo de betão não satisfaz as exigências de um betão arquitectónico.

O tipo de betão usado para a obtenção de acabamentos com cor tem que satisfazer requisitos mais apertados, no que se refere ao seu fabrico e aplicação, do que um betão comum, cuja composição é estudada apenas para responder a solicitações de ordem estrutural. Agora, impõem-se outros requisitos: para além das exigências do habitual desempenho físico e mecânico exigido, somam-se as exigências ao nível da aparência e de durabilidade às acções climatéricas e à poluição atmosférica.

No Quadro 3.3 faz-se a comparação entre as principais características dos betões correntes estruturais e de betões de elevado desempenho arquitectónico:

	BETÃO CORRENTE	**BETÃO ARQUITECTÓNICO**
ASPECTO:		
COR	cinza	variada
ÍNDICE DE REFLECTÂNCIA[5]	< 40%	Até 80%
TIPO DE SUPERFÍCIE	lisa	variada
CARACTERÍSTICAS DO BETÃO FRESCO:		
CONSISTÊNCIA	Bombável (S3) – slump entre 10 a 15 mm	Fluidos / Auto-compactáveis
RELAÇÃO A/C	> 0,48	<0,40
DOSAGEM DO LIGANTE	270 a 310 Kg/m^3	350 a 500 Kg/m^3
CARACTERÍSTICAS DO BETÃO ENDURECIDO:		
COMPORTAMENTO MECÂNICO:		
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	25 a 30 MPa	70 a 130 MPa
RESISTÊNCIA À FLEXÃO	3 a 4 MPa	5 a 12 MPa
DURABILIDADE:		
POROSIDADE EM VAZIO	>13%	<10%
PERMEABILIDADE AOS CLORETOS	>4.000 C	<2.000 C

Quadro 3.3 – Resultados da comparação das características de betões correntes com betões arquitectónicos, apresentados pelo Laboratório da *SECIL*.

[5] Embora o cimento branco disponível no mercado apresente um índice de reflectância superior a 80%, a influência da cor dos agregados, sobretudo da areia mais fina, conduz a betões com índices de reflectância inferiores. Conseguem-se obter betões com índices de reflectância até 80%, desde que as areias sejam muito brancas, bem lavadas e sem teor de argilas.

Pela análise do quadro pode-se concluir que a evolução de um betão estrutural corrente para um betão arquitectónico conduziu a um incremento significativo das suas propriedades, conferindo-lhe qualidade ao nível de aparência, desempenho e de durabilidade.
É de notar o incremento da dosagem mínima de ligante e a redução da relação A/C (água/cimento), o que conduz a um

betão com uma consistência mais fluída. Neste tipo de betões há um aumento da dosagem mínima de elementos finos (cimento e fíleres) em detrimento da dosagem dos elementos grossos, cuja granulometria tem uma dimensão máxima admitida de 15mm. A transição para betões auto-compactáveis é o exemplo deste tipo de composições.

Assim, na escolha de um acabamento liso colorido, os betões têm que ser bem compactos e com uma boa espessura de *pele*, de forma a assegurar a homogeneidade e um bom acabamento das superfícies. Pelo que «é fundamental garantir composições ricas em elementos finos, nomeadamente de cimento e fíleres, de forma a permitir uma superfície opaca homogénea, onde os pigmentos se conseguem distribuir de forma mais equilibrada e portanto evitando-se concentrações irregulares de cor.» [6]

[6] NUNES, Ângela – «O Futuro do Betão: as potencialidades por descobrir», 1º Seminário Avançado de Arquitectura em Betão.

A uniformidade da cor depende também dos métodos usados na moldagem e na vibração do betão. Quanto maior for o grau de compactação mais escura é a cor e mais densa é a textura.

Fig. 3.4 – Amostras de betões brancos, com acabamento liso e desactivado, em que a única variável é a origem dos fíleres: de mármore, calcários e graníticos, respectivamente.

Quando a opção for a realização de um betão branco, deve ser descrito em caderno de encargos a tonalidade que se pretende atingir com a definição de parâmetros colorimétricos, tais como os índices de brancura e de reflectância a atingir. A infinidade de opções na escolha dos tipos de agregados que fazem parte da constituição do betão tem influência no resultado final do aspecto da superfície, pelo que a mistura deverá ser afinada com a execução de protótipos de forma a se conseguir o efeito pretendido.

Uma experiência realizada no laboratório da *SECIL* exemplifica a gama de brancos obtidos apenas com a variação de um dos constituintes da mistura: os fíleres. Estes são provenientes de origens diversas: fíler de mármore, fíler de calcário e fíler de granito. Foram realizadas três amostras de 40cmx40cm com acabamento liso e três em betão desactivado.

Como termo de referência são apresentadas, no quadro sinóptico no ponto 3.1.4, composições base de tipos de betões brancos já aplicados e testados e que poderão servir de referência a qualquer betão de cor clara através da adição de pigmentos. É de salientar que estas possibilidades de composição foram realizadas em condições específicas e qualquer variação terá consequência no resultado obtido, daí a imprescindibilidade da elaboração de amostras, dada a particularidade de cada situação específica.

Como já foi referido são os materiais mais finos que influenciam a cor, pelo que na sua selecção terá de se ter em conta a cor dos fíleres e das areias finas para a obtenção das tonalidades especificadas. Os agregados grossos apenas têm influência quando ficam expostos, em consequência do tipo de tratamento realizado.

O tipo de cimento a empregar deve ser seleccionado com a adequação das suas principais características (índice de reflectância, trabalhabilidade, performance mecânica) com o efeito que se pretende levar a cabo. Mais à frente são descritas as características e aplicações principais dos tipos de cimentos brancos e cinzentos comercializados no mercado nacional.
Independentemente do tipo de cimento utilizado, os betões brancos apresentam classes de resistência elevadas e, consequentemente, têm um elevado grau de compacidade, garantindo um aspecto uniforme isento de manchas.

Um cuidado especial a ter na elaboração de um betão branco ou de cor clara prende-se também com o tratamento das armaduras, para que estas não apresentem sujidades que, durante a betonagem, possam contaminar o betão. Os varões das armaduras devem ser escovados, limpos com ar comprimido ou tratados, antes da oxidação, com pinturas à base de *hidroepoxy* ou poliuretano.
Igualmente, as cofragens têm que estar limpas, isentas de quaisquer resíduos de óleos usados, ferrugem, poeiras ou outras impurezas que possam ficar registados permanentemente na superfície do betão. Neste caso, evitam-se os óleos habituais de descofragem, já que podem originar

manchas de gordura nas superfícies de betão, dando-se preferência a produtos para facilitar a desmoldagem à base de parafinas incolores, aplicados à pistola, de modo a formar uma película muito fina e contínua, completamente imperceptível na superfície do molde.

É de notar o cuidado que se tem que ter ao longo de todas as fases do processo construtivo deste tipo de acabamento, quer na elaboração do próprio material que, por ser constituído por partículas diferentes em dimensão, massa volúmica, reactividade e coloração propicia a sua heterogeneidade, quer pela sensibilidade da sua superfície, de difícil homogeneidade, já que qualquer defeito ou sujidade da cofragem fica gravado na superfície.

A técnica apresentada refere-se à introdução de cor durante o fabrico do betão, ou seja quando o betão está em estado fresco. Este tipo de coloração de toda a massa do betão apresenta vantagens em relação à sua pintura superficial quando endurecido, quer ao nível da durabilidade de aparência, quer ao nível do comportamento mecânico, já que a peça apresenta um comportamento monolítico e homogéneo superior ao betão normal.

3.1.2.2 A textura

Para além da introdução de cor no betão existe uma ampla gama de possibilidades de tratamento das superfícies resultante da experimentação para a obtenção de texturas.
Normalmente, o betão apresenta uma textura lisa conferida directamente pela superfície que lhe serve de cofragem.
Conforme abordado no capítulo 2 as primeiras experiências com texturas surgem pela impressão dos veios e nós das tábuas de madeira que constituíam a cofragem. Actualmente, com as novas técnicas de moldagem são conseguidos resultados à medida de cada projecto. Mais uma vez o caminho da experimentação é fundamental para a validação das soluções apresentadas.

A textura nas superfícies de betão pode ser obtida durante o processo de fabrico do betão ou numa fase posterior quando o betão já se encontra endurecido. Nesta última possibilidade as superfícies de betão são sujeitas a tratamentos mecânicos diversos - de que são exemplo a bujardagem, o esponteirado, o tratamento a jacto de areia ou a granalha, o polimento, o amaciado, o flamejado, etc. –, semelhantes aos usados nas pedras naturais, e que provocam a erosão da superfície dos agregados.

No âmbito do presente trabalho apenas são considerados os acabamentos das texturas resultantes do processo de fabrico, ou seja, elaborados com o betão em estado fresco.

Assim, as técnicas mais utilizadas são a moldagem com ou sem estampagem superficial e o betão desactivado:

1. A moldagem com ou sem estampagem superficial. Este tipo de acabamento permite quase todas as possibilidades de desenho possíveis ao projectista. Aproveitando a característica de ser um material moldável, utilizando moldes em poliuretano, elastómeros ou silicones ou pura e simplesmente através de estampagem com recurso a rolo ou carimbo, conseguem-se imprimir as texturas mais variadas sobre o betão fresco. A preparação dos moldes de borracha é concebida a partir de um protótipo original em madeira, gesso, *viroc* ou tecidos texturados. Esta técnica é passível de ser realizada no betão *in situ* com colagem e pregagem destes moldes às cofragens tradicionais, porém quando aplicada a sistemas prefabricados há a rentabilização da elaboração dos moldes. Outra possibilidade é a estampagem de imagens nas superfícies de betão, quer em baixo relevo, pelo processo de transferência de imagens através da configuração do molde, quer com um acabamento liso, como é exemplo o processo de transferência de imagens na base da pintura plana. Estas duas técnicas são abordadas no ponto 3.1.3.

Fig. 3.5 – Aspecto de molde em elastómeros.

Fig. 3.6 – Amostra resultante da aplicação do molde anterior.

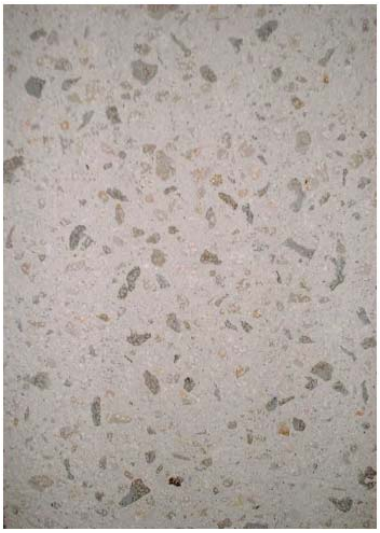


Fig. 3.7 – Pormenor de betão desactivado (ataque fraco – 0,2mm). Fotografia tirada de: NUNES, Ângela – «*O Futuro do Betão: as potencialidades por descobrir*», 1º Seminário Avançado de Arquitectura em Betão.

Fig. 3.8 – Pormenor de betão desactivado (ataque médio – 0,8mm). Fotografia tirada de: NUNES, Ângela – «*O Futuro do Betão: as potencialidades por descobrir*», 1º Seminário Avançado de Arquitectura em Betão.

2. <u>O betão desactivado.</u> Esta técnica consiste na aplicação de retardadores de superfície directamente sobre as superfícies, através da pulverização (no caso de pavimentos), ou no molde (no caso de peças de desenvolvimento vertical) que, evitam a formação da presa do betão na camada superficial, com espessura variável em função da profundidade de ataque do produto aplicado. Estes produtos permitem a exposição dos agregados até diversas profundidades, de 0,1 a 10mm, consoante o efeito pretendido. Após o endurecimento das camadas interiores do betão é realizada a desmoldagem e procede-se à lavagem, com jacto de água controlado e escovagem, retirando a camada superficial do betão e tornando os agregados visíveis, o que significa que a forma, o tipo, a cor e a granulometria dos agregados é relevante no resultado obtido. Assim, no estudo da composição do betão há que tirar partido dos efeitos da conjugação matriz - agregados. Neste tipo de acabamento os agregados ficam expostos, já que há a remoção completa ou parcial da *pele*, porém não sofrem qualquer tipo de erosão, ficando visualmente intactos. Esta técnica pode ser aplicada a um betão com funções estruturais desde que seja assegurada a camada de recobrimento das armaduras, pois é necessário ter em conta a profundidade de ataque pretendida. A técnica de fotogravação em betão durante a moldagem não é mais do que uma variante de betão desactivado como se verá no ponto 3.1.3.

3.1.3 As técnicas de transferência de imagens

As técnicas de transferir fotografias para a superfície de betão têm, ainda, uma componente experimental, atendendo a que estão, neste momento, a ser desenvolvidas por várias empresas do ramo das artes gráficas e da pré-fabricação em betão.

Neste trabalho pretende-se fazer uma abordagem sobre o tema, de forma a contribuir para o conhecimento e divulgação dos processos que lhe estão associados. Nesse sentido, foi realizada uma pesquisa no intuito de fazer um balanço da actual situação da investigação neste domínio.

No panorama nacional, os estudos sobre esta matéria são incipientes. Ao nível teórico, apenas se encontra disponível um estudo[7] realizado no âmbito da disciplina de Tecnologia de Construção de Edifícios do Mestrado em Construção do Instituto Superior Técnico, com o apoio experimental da *SECIL*. Neste trabalho, sem grandes efeitos na obtenção de uma imagem com qualidade, são obtidos resultados ao nível experimental no estabelecimento de parâmetros para os materiais e para o procedimento de realização desta técnica. Destaca-se, também, ao nível prático, a experiência realizada no laboratório da *PRÉGAIA*, na moldagem de um painel fotogravado, recorrendo à tecnologia desenvolvida pela empresa francesa *PIERI*, na concepção das telas que permitem a fotogravação em betão.

Ao nível internacional, com as óbvias limitações geográficas, foram realizados contactos com empresas e autores dos vários projectos pioneiros nesta tecnologia, que, na medida do possível e dado o domínio ainda muito experimental da técnica e dos seus processos de execução, facultaram o que lhes foi permitido.

O trabalho assenta, também, numa base experimental desenvolvida com a ajuda do laboratório da *SECIL*, e que valida o conhecimento adquirido.

Deixa-se, assim, um pequeno contributo para o desenvolvimento de um dos principais campos de investigação das potencialidades do uso de betão na concepção artística e arquitectónica.

[7] ALMEIDA, Maria – «*Serigrafia em Betão*».

3.1.3.1 As Técnicas de gravura nas artes plásticas

O emprego de técnicas modernas para a obtenção de novos acabamentos de superfície em betão simboliza o encontro da arte com a ciência, pois, se por um lado se está perante o recurso a meios técnicos artesanais, vinculados às artes plásticas, por outro, o betão representa o que de mais tecnológico existe na capacidade humana de produção.

A técnica de fotogravação[8] em betão é uma adaptação semi-industrial da técnica de s*graffito*[9], uma técnica de decoração mural muito usada no ornamento de igrejas, fachadas de palácios renascentistas italianos entre outros edifícios notáveis. O s*graffito* é uma técnica de gravura que consiste em cobrir um suporte de fundo escuro com um revestimento claro, normalmente estuque, no qual, depois de seco, eram raspados as formas e os desenhos desejados.

Esta necessidade de apropriação das superfícies como suporte mediático de mensagens está presente desde a pré-história, através da representação simbólica de cenas do quotidiano (imagens de caçadas, festas, rituais) nos registos elaborados nas paredes das cavernas. A característica principal dessas *gravuras* remete para um acto de representação do mundo sobrenatural e significava uma manifestação artística, única, irreproduzível.

A gravura na sua generalidade adquiriu uma nova significação quando aliada a processos de reprodução. A gravura sobre madeira ou xilografia[10] foi a mais antiga das técnicas que permitiu, no século XIV, longe ainda da descoberta da imprensa[11], a reprodução rápida de livros que, até aí eram manuscritos, e cuja reprodução, que levava anos a concluir, era assegurada pelos copistas clérigos.

A arte da gravura é determinada pela matéria em que esta é executada, dando origem a diferentes técnicas de realização, de que são exemplo a xilogravura, a calcografia, a litografia, etc.[12]
Actualmente, às técnicas de gravura estão associadas as práticas da fotografia, que permitem uma maior diversidade dos processos técnicos de execução, que variam consoante o fim a que se destinam. Assim, para transferir fotografias para

[8] Utilizar-se-á o termo fotogravação em betão (*photo engraved concrete*) para definir todos os procedimentos destinados a reproduzir fotografias, desenhos ou gravações no betão mediante desactivação selectiva, recorrendo a métodos serigráficos, fotogravura, etc.

[9] MACK, Gerhard; LIEBERMANN, Valeria – «*Herzog & de Meuron: Eberswalde Library.*», p.22.

[10] A xilografia é uma técnica de impressão, cuja matriz é talhada em relevo, que permitia a reprodução dos livros através de um processo de estampagem.

[11] A descoberta da imprensa foi em meados do século XV, por volta de 1450, pelo alemão Johann Gensfleish Gutenberg.

[12] Para um maior conhecimento do tema consultar: JORGE, Alice; GABRIEL, Maria – «Técnicas da Gravura Artística».

um determinado suporte recorre-se a métodos como os da colotipia, da fotogravura, da serigrafia, da fotolitografia, do *offset*, entre outros.

3.1.3.2 A Técnica de fotogravação em betão durante a moldagem

A técnica da fotogravação em betão recorre ao conhecimento adquirido em algumas das técnicas referidas como suporte de parte do seu processo construtivo.
A tecnologia construtiva apresentada consiste na transferência de imagens para a superfície de painéis prefabricados em betão ou realizados *in situ*.
As fotografias são transferidas para um filme de plástico especial, através do processo de serigrafia[13], usando retardador superficial de presa em vez de tinta. Essa folha de plástico, coberta de desactivante, é colocada no fundo do molde, com cuidado para que não haja nenhum deslize, e o betão é vertido sobre ela. A quantidade de retardador usado controla o grau de endurecimento da superfície de betão. Quando o painel é desmoldado, é lavado cuidadosamente com água e escovado para que o betão que está em contacto com o retardador, e que permanece líquido, seja retirado, dando origem a áreas em que a superfície é mais escura, rugosa, em consequência da exposição dos agregados. Este contraste entre partes rugosas e lisas, entre o escuro e o claro constituem uma hierarquia de pontos que definem a imagem. A qualidade de definição depende do contraste da imagem e do contraste entre as cores do cimento e dos agregados.

[13] A serigrafia é um processo de impressão que se baseia na utilização de uma rede muito fina, esticada e aplicada sobre um quadro rígido rectangular. As áreas do quadro que não são para imprimir bloqueiam-se com material impermeável, para que não deixe passar a tinta. Esta tinta apenas passará, por pressão do rodo, através da zona da rede desbloqueada, correspondendo à mancha a imprimir sobre o papel colocado abaixo do quadro.

3.1.3.2.1 Execução da tela/ do fotolito (para o processo da serigrafia)

A técnica de fotogravação em betão envolve uma série de procedimentos prévios ao processo de moldagem, para a obtenção das *folhas de gravação* que se colocam no fundo do molde e transportam a imagem para a superfície de betão.
A primeira tarefa a realizar é a escolha da fotografia que se

pretende transportar para a superfície de betão. A imagem deve ser de boa qualidade e ter um contraste acentuado. As fotografias contrastadas em negros e brancos asseguram mais facilmente a qualidade do painel fotogravado.

A fotografia é digitalizada e corrigida com programas de computador para o efeito, no caso de ser necessário o aumento do seu contraste.

O passo seguinte é transportar a imagem para um filme transparente. A fotografia digitalizada é impressa com tinta preta, com o máximo de definição possível, no filme transparente. Para imagens maiores recorre-se ao uso de um projector de ultravioletas para projectar e aumentar o tamanho da imagem. A película transparente é impregnada com uma solução fotossensível que reage na presença da luz dando origem a uma grande fotocópia.

Depois de transportada a imagem para o filme transparente, este é colocado entre um intenso foco de luz de ultravioletas e uma tela de seda fina coberta com uma solução fotossensível especial. Dá-se um processo análogo ao anterior. Quando a luz é parada pelos pontos pretos impressos no filme transparente, a solução fotossensível não endurece. Um efeito contrário acontece quando a luz passa através das partes transparentes do filme (pela inexistência de pontos pretos), em que a solução fotossensível endurece através de um fenómeno de polimerização.

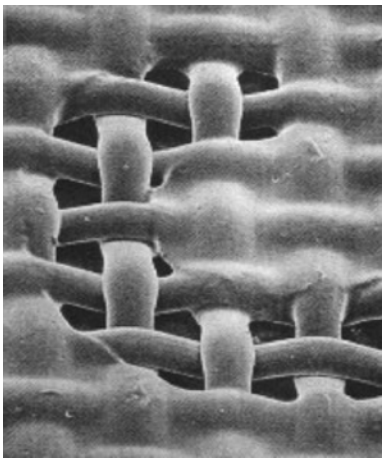


Fig. 3.9 – Pormenor dos orifícios da tela serigráfica. *GRACE – PIERI, SA* – «Serilith Photo Engraved Concrete».

A diferença de tonalidade é dada pela maior ou menor concentração de pontos pretos ao longo da superfície e, consequentemente, o maior ou menor grau de endurecimento da solução fotossensível. A densidade e o tamanho dos pontos dependem da densidade dos negros da fotografia original. Quanto mais escura for a zona da fotografia, maior será a densidade dos pontos da *folha de gravação*, e vice-versa.

A tela é depois lavada com água, removendo as partes em que a solução especial se manteve sem reagir e que corresponde ao positivo da imagem. Esta, apresenta-se agora, feita por milhares de pequenos orifícios na própria tela obtida.

Fig. 3.10 – Passagem do retardador superficial de presa pelos orifícios da tela. *GRACE – PIERI, SA* – «Serilith Photo Engraved Concrete».

Fig. 3.11 – Criação do modelo através do método serigráfico na folha de plástico que recobrirá a face do molde. *GRACE – PIERI, SA* – «Serilith Photo Engraved Concrete».

Fig. 3.12 – *Folhas de gravação. GRACE – PIERI, SA* – «Serilith Photo Engraved Concrete».

[14] *PIERI* DRC 6/01 é um desactivante de superfície para elementos prefabricados, cuja profundidade de acção é a mais baixa (da gama disponível), ou seja, o betão é apenas desactivado superficialmente, obtendo-se uma superfície praticamente plana.

3.1.3.2.2 Execução das *folhas de gravação*

O transporte da imagem para as folhas de gravação é realizado pelo processo da serigrafia, em que o usual emprego de tinta é substituído por um desactivante específico.

As *folhas de gravação* são realizadas, normalmente, em placas rígidas de poliestireno, com alguns milímetros de espessura. Sobre estas folhas é colocada a tela obtida pelos processos anteriores. É depois aplicado o retardador que passa para a placa de poliestireno através dos orifícios abertos da tela, constituindo, assim, a imagem em negativo, ponto por ponto. Quando a superfície de retardador está seca, a folha de gravação está pronta a ser usada no molde, podendo-se proceder à betonagem. Os pontos da folha com retardador impedem que nessa zona o betão faça presa.
A principal qualidade deste processo é que cada ponto da superfície com retardador cria um círculo exacto, do mesmo diâmetro, nos agregados expostos do betão, permitindo o controlo perfeito das sombras criadas pela exposição dos agregados que estão mais profundos.
A qualidade do retardador usado é de extrema importância, já que deve ser suficientemente fluído para passar através dos pequenos orifícios da urdidura, mas também não muito fluído para não se formarem manchas, que originariam um efeito de imprecisão da fotografia, após a lavagem. No caso das folhas produzidas pela empresa *GRACE/PIERI* o retardador é do tipo *PIERI DRC 6/01*[14].
As *folhas de gravação* devem ser manuseadas com cuidado para evitar fazer dobras, devem ser protegidas de qualquer contaminação (pó; salpicos de água, etc.) antes da sua utilização, dado que comprometeria a qualidade do resultado a obter.

3.1.3.2.3 Preparação do molde

As *folhas de gravação* são colocadas no molde com a face que contém o retardador de presa para cima. Devem ser coladas contra o molde, usando fita adesiva de dupla face, para que

Fig. 3.13 – Colocação das *folhas de gravação* no painel de cofragem. *GRACE – PIERI, SA* – «Serilith Photo Engraved Concrete».

não sejam deslocadas de sítio quando o betão é vertido no molde. Para montar painéis com mais do que uma *folha de gravação*, lado a lado, é necessário ter muito cuidado com a sua junção, para que não seja perceptível no painel final de betão. Depois do molde estar revestido, deve-se proceder à execução dos trabalhos com a máxima celeridade para que não se corram riscos da deterioração das telas ou o seu ferimento.

3.1.3.2.4 A composição do betão

A escolha de um betão auto-compactável no processo de fotogravação apresenta vantagens, já que este tipo de betão tem a capacidade de preencher todos os recantos da cofragem e, no caso de existirem, envolver as armaduras apenas pelo esforço do peso próprio, sem a necessidade de vibração.
Porém, também é possível realizar esta técnica recorrendo a outros tipos de betões, tem é que se ter em atenção algumas questões relacionadas com a sua composição. Deve ser um betão rico em partículas finas, para garantir um aspecto uniforme da superfície.
Os agregados devem ser cuidadosamente escolhidos para darem o contraste de cor e detalhe em relação ao cimento. A relação entre agregados e areia deve andar perto de 1,2:1. A quantidade de cimento deve ser elevada, dependendo das solicitações de resistência. Deve ser usado um cimento de alta qualidade, cinzento ou branco, do tipo I ou II. Na mistura há que evitar a presença de fíleres com pigmentos ou a adição destes (cinzas volantes ou pedras calcárias coloridas). Recomenda-se, também, o uso dos aditivos necessários para produzir um acabamento de superfície de grande qualidade, obtendo, assim, um grande contraste entre as faces lisas e as zonas desactivadas do betão.

[15] *PIERI XL TOP FLUID* 4.1 é um superplastificante redutor de água, usado para a obtenção de betões autocompactáveis, de betões de altas performances com retracções baixas.

[16] *PIERI KAOLOR BB* é um aditivo em pó característico pela sua elevada brancura, que é utilizado para aclarar os betões de cimento cinzento.

[17] *PIERI KAOLOR PP900* é um colorante branco para betão; é utilizado para aclarar betões de cimento cinzento e para reforçar a brancura de betões de cimento branco.

Mediante estas indicações, uma hipótese de composição de um betão para este tipo de acabamento seria a que se apresenta no Quadro 3.4:

Agregados	1000 Kg
Areia fina	850 Kg
Cimento do tipo I ou II	400/500 Kg/m^3
Adjuvantes: - tipo *PIERI XL Top Fluid 4.1*[15] - tipo *PIERI Kaolor BB*[16] ou - tipo *PIERI Kaolor PP900*:[17] -para betões de cimento cinzento -para betões de cimento branco	 0,4 % do peso do cimento 50/70 Kg/m^3 (em substituição de uma quantidade equivalente de cimento) ou 3 a 8% do peso do cimento 2 a 5% do peso do cimento

Quadro 3.4 – Composição cedida pela empresa *GRACE/PIERI, SA*.

No caso de se recorrer a um betão auto-compactável uma possibilidade de composição seria a do Quadro 3.5:

Agregados	1000 Kg
Areia fina	1000 Kg
Cimento do tipo I ou II	400/500 Kg/m^3
Adjuvantes: - tipo *PIERI XL Top Fluid 4.1* - tipo *PIERI Kaolor BB* ou - tipo *PIERI Kaolor PP900*: -para betões de cimento cinzento -para betões de cimento branco	 1,5 a 3 Kg/m^3 50/70 Kg/m^3 (em substituição de uma quantidade equivalente de cimento) ou 3 a 8% do peso do cimento 2 a 5% do peso do cimento

Quadro 3.5 – Composição cedida pela empresa *GRACE/PIERI, SA*.

É de notar o aumento da quantidade de areia fina, para uma relação de 1:1 em relação aos agregados, e da maior percentagem de superplastificante usada, que pode ir até quase o dobro.

Fig. 3.14 – Betonagem com betão auto-compactável. *GRACE – PIERI, SA* – «Serilith Photo Engraved Concrete».

Fig. 3.15 – Lavagem com uma máquina de alta pressão, com cuidado para manter os detalhes do desenho. *GRACE – PIERI, SA* – «Serilith Photo Engraved Concrete».

Fig. 3.16 – Lavagem de painel prefabricado. *GRACE – PIERI*, SA – «Serilith Photo Engraved Concrete».

3.1.3.2.5 O processo de betonagem e desmoldagem

Depois de colocadas as *folhas de gravação* no molde não deve ser aplicado qualquer produto para auxiliar a desmoldagem. O betão é vertido para o molde com cuidado para não deslocar ou danificar as folhas de plástico. Enche-se o molde cuidadosamente e, se necessário, com a ajuda de um rodo ou ancinho coloca-se betão nos cantos.

Quando não é usado um betão auto-compactável, a vibração deve ser aplicada e limitada a uma frequência média de 6000Hz, no mínimo.

O molde deve permanecer em repouso, sem ser movido, pelo menos meia hora após ter sido colocado o betão.

A desmoldagem deve ser realizada após 24 horas, depois de o betão endurecer.

3.1.3.2.6 A lavagem e a protecção das superfícies

Após ter sido retirada a cofragem procede-se à lavagem cuidadosa, com água fria, a baixa pressão, para retirar o betão nas zonas desactivadas e, assim, obter uma boa definição da imagem escolhida. O contraste de cor entre as partes endurecidas e as partes desactivadas, em conjunto com a densidade dos pontos do desactivante, reproduz a fotografia original.

Após duas semanas o betão fotogravado pode ser protegido com repelentes à base de água do tipo *PIERI Hydroxi 2000*[18], ou óleo-repelentes como *PIERI Protec Emulsion*[19] ou *PIERI Protec Resine*[20].

3.1.3.2.7 Problemas associados a esta técnica

Os principais problemas estão relacionados com o uso de um betão que não seja auto-compactável e que comprometa a perceptibilidade da gravação final.

Se o betão não for bem vibrado pode ocorrer o aparecimento de bolhas à superfície do betão, sem solução de reparação.

Outra questão tem a ver com as sombras dos agregados que podem apenas aparecer debaixo da superfície de betão: o

excesso de vibração dá origem à segregação.

Se a profundidade de acção do retardador for muito intensa é porque a lavagem ocorreu muito cedo, ou a pressão da água foi muito forte.

Actualmente foram retirados de comercialização as *folhas de gravação* produzidas pela empresa *GRACE/PIERI*, por ter sido detectada a falta de homogeneidade na qualidade do produto, visto em algumas aplicações não terem sido conseguidos resultados positivos.

[18] *PIERI Hydroxi 2000* é um hidrófugo de superfície que protege todos os materiais minerais dos efeitos causados pela água e pela poluição, tais como diferenças de aspecto e de coloração devido à chuva, ocorrência de eflorescências, etc.

[19] *PIERI Protec Emulsion* é uma emulsão para protecção das superfícies de betão, que forma um filme resistente à abrasão e repelente para as matérias com gordura e evita a incrustação de vegetais nas porosidades do betão.

[20] *PIERI Protec Resine* é uma resina de protecção para paramentos de betão, que forma sobre a superfície um filme incolor de resina acrílica, resistente à abrasão e redutora da sua porosidade.

3.1.3.3 A Técnica de fotogravação em betão pós a sua cura

Outra nova tecnologia de gravação de imagens em superfícies de betão é a desenvolvida pela empresa alemã *HEBAU*, que consiste na realização deste tipo de acabamento após a cura do betão, através da impressão em profundidade, usando técnicas químicas (técnica da água-forte). [21]

Não foi possível obter informação do processo técnico de elaboração das *folhas de gravação* desta técnica, pelo que o estudo é limitado à descrição dos procedimentos de fotogravação de uma imagem numa superfície de betão.

Nesta técnica a *folha de gravação* é colocada sobre uma superfície de betão lisa e livre de quaisquer impurezas, depois de retirada a protecção posterior. A folha adere à superfície de betão e retira-se a segunda folha de protecção, agora da face superior da imagem. É protegida a restante superfície de betão que não está em contacto com a *folha de gravação*, para não ser danificada pela acção química.

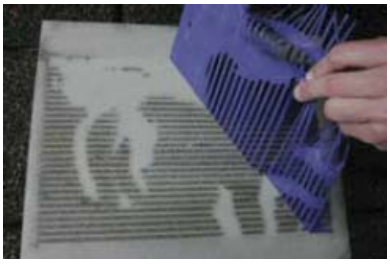
Aplica-se um ácido do tipo *MICROGEL spezial*[22] cuidadosamente, espalhando com uma escova. Da aplicação deste ácido depende a qualidade de tratamento da superfície obtida. Após este procedimento, lava-se com água, retira-se a folha de gravação e aplica-se imediatamente uma protecção na superfície de betão do tipo *COLORFRESH*[23] ou *COLORTEC Rapid*[24], com um efeito brilhante, ou invisível, respectivamente.

[21] A técnica de água-forte é uma das técnicas da calcogravura, que valoriza a acção de ácidos. Consultar JORGE, Alice; GABRIEL, Maria – «Técnicas da Gravura Artística».

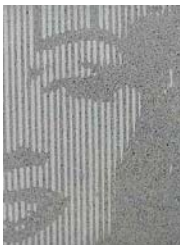
3.17 – Colocação da *folha de gravação* sobre a superfície de betão endurecido. URL:http://www.hebau.de

3.18 – Separação da segunda película de protecção. URL:http://www.hebau.de

3.19 – Aplicação do ácido sobre a *folha de gravação* . URL:http://www.hebau.de



3.20 – Extracção da *folha de gravação*. URL:http://www.hebau.de



Figs 3.21 / 3.22 – Amostra de painel fotogravado em betão pela técnica pós cura e, à direita, a imagem original.

[22] *MICROGEL spezial* é um produto que contém reagentes de superfície e ingredientes ácidos com o objectivo de obter uma micro exposição em superfícies de betão já curadas.

[23] *COLORFRESH* é um repelente de sujidade e de água que introduz um brilho luminoso na superfície e realça a cor do betão.

[24] *COLORTEC Rapid* é um dissolvente e um repelente de água que forma uma película protectora. Foi desenvolvido especialmente para aplicação em betão acabado de descofrar, sem criar efeitos de brilho.

A qualidade da superfície de betão é de extrema importância para não comprometer o resultado pretendido. Devem ser realizadas amostras para a obtenção do máximo de contraste entre o cimento e os agregados, à semelhança do processo por técnica serigráfica. Assim, uma composição adequada seria a que se apresenta no Quadro 3.6:

Agregados: - de granito preto (1-2mm) - de granito preto (2-4mm)	 300 Kg/m^3 1350 Kg/m^3
Areia de quartzo (0-1mm)	200 Kg/m^3
Cimento	350 Kg/m^3
Água	175 l/m^3
Adjuvantes	-

Quadro 3.6 – Composição cedida pela empresa *HEBAU*.

Fig. 3.23 – Amostra realizada pelo laboratório da *SECIL* recorrendo ao método de transferência de fotografias na base da pintura plana.

3.1.3.4 Processo de transferência de imagens na base da pintura plana

A técnica da pintura plana requer uma abordagem diferente da técnica de fotogravação em betão, na base do relevo através da desactivação do betão. A primeira é por adição (de tinta) e a outra é por subtracção de parte do material constituinte, ferindo a sua superfície com a remoção das zonas do betão que não fizeram presa.

A técnica agora apresentada é resultado da experimentação realizada pelo laboratório da *SECIL*.
À semelhança das técnicas anteriormente descritas, o primeiro passo é a escolha de uma fotografia com elevada definição e contraste. Imprime-se com as dimensões pretendidas num suporte à escolha (normalmente papel fotográfico).
Coloca-se a folha impressa no fundo do molde com a face com tinta voltada para cima, para ficar em contacto com o betão.
A folha deve ser bem colada ao molde, com cola de papel, para evitar que seja deslocada da posição inicial. Depois de afinada a composição do tipo de betão a empregar, procede-se à betonagem.
O betão deve estar de acordo com os requisitos exigidos a um betão branco, garantindo a lisura da superfície a obter, para que, no processo de transferência da imagem impressa na folha de papel para a superfície de betão, por capilaridade, seja assegurada a qualidade inicial da fotografia.
É de notar que a tinta que constitui a imagem penetra no betão até cerca de 1cm de profundidade, o que assegura alguma durabilidade da superfície, mesmo quando exposta.
O principal problema que esta técnica apresenta é que ao longo do tempo de vida, a imagem impressa vai ficando esbatida e, no caso de ser uma imagem policromática acaba por desaparecer, em resultado da acção dos raios ultra-violetas. Porém, se a imagem a transferir for monocromática e, após a desmoldagem for aplicado um protector de superfície consegue-se garantir a durabilidade da sua aparência.
Para a realização desta técnica não é obrigatório o uso de betões brancos, tem é que ser assegurado o contraste entre a imagem (tinta preta) e a cor base da superfície de betão.

Esta é uma técnica simples, económica, com potencialidades na qualificação das superfícies em betão, pelo que se torna necessário continuar a desenvolvê-la de forma a melhorar as suas *performances*.

3.1.3.5 Processo de transferência de imagens através da configuração do molde

Fig. 3.24 – Amostra realizada pela *RECKLI*
< URL:http://www.reckli.de>

O uso da textura do molde para obter o acabamento das superfícies de betão tem sido uma técnica muito usada, como já foi referenciado ao longo do trabalho.
Actualmente, é possível, pelo desenvolvimento de uma nova geração de moldes constituídos por materiais elásticos, incorporar uma imagem, uma fotografia, desenho ou gravura, no acabamento superficial do betão. Assim, os arquitectos têm a liberdade de realizar um sem número de possibilidades no acabamento das superfícies, materializando as suas ideias.
A técnica tem vindo a ser desenvolvida pela empresa alemã *RECKLI*, em que é possível realizar diferentes efeitos na superfícies, desde as mais subtis até às mais pronunciadas, dependendo da definição da imagem escolhida, através da adequação da configuração dos moldes.
Em relação a parâmetros de custo, esta técnica apresenta vantagens consideráveis comparativamente com as apresentadas anteriormente, no caso em que o molde elaborado é utilizado para a realização em série de componentes em betão. As *folhas de* gravação são inutilizadas após uma utilização, assim como as folhas impressas da técnica anterior.

O processo inicia-se com a construção do negativo do molde, através de um método informático de transferência de dados da imagem para o material, por meio da tecnologia da fresagem automatizada. Primeiro a imagem é digitalizada e convertida em escalas de cinza, já que por este processo apenas são identificados os valores do cinzento.
Obtém-se, assim, um modelo com a imagem tridimensional em positivo, que é usado como modelo mestre para a moldagem do molde em silicone, que formará o negativo da imagem.

As dimensões máximas, em metros, para a realização destes moldes são de 4x1,90.
Um cuidado a ter no uso desta técnica é o dimensionamento da espessura de recobrimento das armaduras, já que se está a trabalhar em baixo relevo.

Quando o observador está afastado do painel obtido em betão, a imagem assemelha-se a uma imagem plana, sendo imperceptíveis as ranhuras em baixo relevo, pelo que constitui uma alternativa aos métodos de transferência de imagem, dado ser uma técnica que se adequa melhor ao âmbito dos sistemas prefabricados e, ao nível da produção, apresenta uma maior simplicidade.
O tipo de betão a utilizar será preferencialmente auto-compactável, pois dependendo das características do molde, tem que garantir o preenchimento de todos os espaços que produzem a imagem em baixo-relevo.

3.1.4 Quadro sinóptico para a obtenção dos principais acabamentos

A combinação da cor, da textura e das técnicas de transferência de imagem permite alargar a gama de possibilidades de acabamentos de forma considerável ao nível do designado Betão Arquitectónico.
É de notar que há acabamentos que somente são compatíveis com o recurso à pré-fabricação, já que esta apresenta vantagens na optimização dos resultados pretendidos. Porém, alguns tratamentos de superfície são susceptíveis de serem realizados *in situ* com bons resultados e a custos baixos.
Neste quadro é feita uma proposta para a elaboração dos vários tipos de acabamentos em betão, tendo por base composições de referência já experimentadas.

As composições apresentadas para a elaboração de betões brancos podem servir de matriz a qualquer betão de cor clara, pela adição dos pigmentos correspondentes. Igualmente se apresenta a proposta de composição de Betão Arquitectónico cinzento que se pode usar como base de referência para a preparação de betões com cores escuras.
Os acabamentos que menos exigências impõem em relação ao tipo de betão a usar são aqueles em que a superfície é posteriormente tratada recorrendo a processos mecânicos ou químicos.
É de notar a preferência pelo uso de betões auto-compactáveis, principalmente nas técnicas de acabamentos mais susceptíveis a cuidados de execução, de que são exemplo as técnicas de transferência de imagens. Por ser extremamente fluído, elimina-se a fase de vibração, o que evita o risco de danificar a imagem colocada no fundo do molde. Por outro lado, como a mistura tem uma elevada percentagem de agregados finos potencia a nitidez da imagem transferida. Ao nível formal, o recurso a betões com consistência muito fluída dá resposta às secções cada vez mais esbeltas exigidas pelos projectistas.
Apresenta-se na página seguinte dois quadros que resumem as propostas estudadas.

	ELEMENTOS DA COMPOSIÇÃO					
TIPO / CLASSE DE BETÃO	**CIMENTO E ADIÇÕES**	**ÁGUA**	**A/C**	**AGREGADOS GROSSOS**	**AGREGADOS FINOS**	**ADJUVANTES**
(b1)[1] / C25/30*	- *Portland* cinzento CEII 42,5R: 245 Kg - Adição de cinzas volantes : 105 Kg	- 170 l	0,69	- Brita nº0,5: 213 Kg - Brita nº1: 290 Kg - Brita nº2: 461 Kg	- Areia grossa: 595 Kg - Areia fina: 255 Kg	- *CHRYSO N30R*: 3,5 Kg (1%)
(b2)[2] / B40 C32/40	- *Portland* branco CEM II/A-L 42,5R(br): 400Kg/m3	- 180l	0,45	- Brita nº1: 200 Kg - Brita nº2: 500 Kg	- Areia grossa / Meia areia: 750 Kg - Areia fina: 300 Kg	- Superplastificante: 4l
(b3)[3] / C50/60	- *Portland* branco CEM II/A-L 42,5R(br): 350-430 Kg/m3 - Adição de fíler calcário: 70-150 Kg/m3	- 140l-180l	<0,42	- Brita nº1e nº2: 724-642 Kg (Máxima dimensão do inerte: Dmáx <15 mm)**	- Areia média e fina : 1088-963 Kg	-Superplastificante última geração: 1-2 %p.c. -Outros (retardadores de presa, controlo de retracção, etc.): 1-2 %p.c. - Pigmento *Bayerferrox*: 1-4 %p.c.
(b4)[4] / C30/37	- *Portland* branco CEM II/B-L 32,5R(br): 350 Kg/m3 - Adição de fíler de mármore: 70 Kg/m3	- 160l	<0,45	- Brita nº1e nº2: 726Kg (Máxima dimensão do inerte: Dmáx <25,4 mm)	- Areia grossa e branca fina : 1089 Kg	-*CHRYSOFLUID OTIMA 100*: 1,5 %p.c.
(b5)[5] / -	- *Portland* branco CEM II/B-L 32,5R(br): 536 Kg/m3 - Adição de fíler: 204 Kg/m3	- 166 Kg/m3	0,31	- Brita V1: 726 Kg/m3	- Areia V1 : 486 Kg/m3 - Areia V2 : 233 Kg/m3	- Superplastificante: 12,58 Kg/m3 - Introdutor de ar: 0,268 Kg/m3

QUADRO 3.7 - COMPOSIÇÃO DE REFERÊNCIA DE TIPOS DE BETÃO

* C25/30: C25 – resistência aos 28 dias em cilindros; C30 – resistência aos 28 dias em cubos 15x15cm.

** A dosagem dos inertes depende da sua granulometria.

[1] Estudo de composição de betão elaborado pela *Unibetão*. Habitação Unifamiliar em Oliveira de Azeméis da autoria da Arquitecta Ana Costa e Silva.

[2] Os valores apresentados têm por base uma composição utilizada no laboratório da empresa de pré-fabricação *PRÉGAIA* para a elaboração de um betão branco ou uma base para um betão com cor clara.

[3] Os dados apresentados neste quadro têm por base uma composição realizada no laboratório da *SECIL* para um betão arquitectónico com cor.

[4] Composição de betão elaborado para o edifício da Biblioteca em Viana do Castelo da autoria do Arquitecto Álvaro Siza.

[5] Composição de um betão auto-compactável estudada pela Eng. Sandra Nunes. Em NUNES, Sandra – «Betão Auto-Compactável: tecnologia e propriedades», pág. 5.41

	TIPO DE ACABAMENTO	**ASPECTO DA SUPERFÍCIE**	**TIPO DO BETÃO POSSÍVEL**	**MOLDES**	**BETONAGEM**	**TÉCNICA**
Efeito parede	Moldado	Liso	(b2); (b3); (b4); (b5)	Em painéis metálicos de aço *inox* ou de contraplacado marítimo, com a possibilidade de serem revestidos com plásticos, etc.	Contra o molde *In situ* ou Pré-fabricação	Acabamento obtido directamente pelo tipo e estado da superfície do molde; qualquer pequeno defeito do molde, da aplicação ou do próprio material é facilmente evidenciado. Também é possível a obtenção de imagens pela colocação de uma folha impressa no fundo do molde – processo de transferência de imagem na base da pintura plana. Neste caso são preferíveis os betões brancos.
		Com relevo	Todos os tipos	Em painéis metálicos de aço, revestidos com telas de poliuretano, elastómeros, silicones, etc.	Contra o molde Pré-fabricação	O uso de moldes especiais permite a obtenção das mais variadas texturas, inclusive a tentativa de reprodução de imagens.
Agregados expostos sem a erosão dos agregados	Desactivado:	Rugoso, dado pelos agregados	(b3)	Em painéis metálicos ou de contraplacado marítimo	Contra o molde Pré-fabricação	Através da aplicação de retardadores de superfície com várias profundidades de ataque e posterior lavagem com água - TRATAMENTO QUÍMICO
		Reprodução de uma fotografia sobre a superfície de betão no caso da fotogravação	(b5)	Em painéis metálicos ou de contraplacado marítimo, revestidos com as folhas de fotogravação	Contra o molde *In situ* ou Pré-fabricação	Um desactivante de superfície especial permite a reprodução de uma fotografia impressa sobre uma placa de poliestireno que é colada no fundo do molde antes da betonagem - TRATAMENTO QUÍMICO
Agregados expostos com a erosão dos agregados	Ácido	Dado pelos agregados finos	Todos os tipos	Em painéis metálicos ou de contraplacado marítimo	Pré-fabricação	Ataque mais ou menos profundo da superfície já endurecida por ácido - TRATAMENTO QUÍMICO Técnica de transferência de imagens após a cura.
	Bujardado	Rugoso	Todos os tipos	Em painéis metálicos ou de contraplacado marítimo	Pré-fabricação	TRATAMENTO MECÂNICO com o betão no estado endurecido – à semelhança do tratamento das pedras naturais
	Esponteirado	Rugoso	Todos os tipos	Em painéis metálicos ou de contraplacado marítimo	Pré-fabricação	TRATAMENTO MECÂNICO com o betão no estado endurecido – à semelhança do tratamento das pedras naturais
	Jacto de areia	Rugoso	Todos os tipos	Em painéis metálicos ou de contraplacado marítimo	Pré-fabricação	TRATAMENTO MECÂNICO com o betão no estado endurecido – à semelhança do tratamento das pedras naturais
	Amaciado	Macio	Todos os tipos	Em painéis metálicos ou de contraplacado marítimo	Pré-fabricação	TRATAMENTO MECÂNICO com o betão no estado endurecido – à semelhança do tratamento das pedras naturais
	Polido	Liso, mate, satinado ou brilhante segundo o tipo de tratamento	Todos os tipos	Em painéis metálicos ou de contraplacado marítimo	Pré-fabricação	TRATAMENTO MECÂNICO com o betão no estado endurecido – à semelhança do tratamento das pedras naturais

QUADRO 3.8 - PROPOSTA DE REFERÊNCIA PARA A ELABORAÇÃO DE ACABAMENTOS EM BETÃO ARQUITECTÓNICO

3.1.5 Os materiais constituintes do betão aparente

O betão aparente, ou designado de arquitectónico, possui exigências de ordem técnica intrínsecas ao material superiores aos betões correntes, apenas com funções estruturais. Têm que apresentar maior homogeneidade, opacidade, compacidade e durabilidade de aparência. Daí a necessidade de se trabalhar com materiais de ponta e de recorrer às melhores tecnologias disponíveis nesta área.

3.1.5.1 O cimento *Portland*

O cimento *Portland* é um ligante hidráulico obtido pela moagem de clínquer. O clínquer resulta da calcinação até fusão incipiente de uma mistura proporcionada de calcário (carbonato de cálcio), argila (silicatos de alumínio e ferro) e, eventualmente, outras substâncias ricas em sílica, alumina ou ferro. A dosagem destas matérias-primas é realizada de acordo com o tipo de cimento que se pretende obter, realçando determinadas propriedades face às exigências da construção que se pretendem satisfazer. Daqui derivam os vários tipos e classes, desde os cimentos do tipo I aos cimentos compostos do tipo II, dependendo do tipo e das exigências da sua aplicação.
No Quadro 3.1 são apresentados os vários tipos de cimentos e algumas das suas características e aplicações.

TIPO	CLASSE	CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES
PORTLAND CINZENTO CEM I	52,5R 42,5R	- elevada resistência inicial e final - elevado calor de hidratação - aplicação na pré-fabricação pesada com alta rotatividade de moldes
PORTLAND CINZENTO CEM II/ A-L	42,5R	- elevada resistência inicial - menor calor de hidratação e melhor trabalhabilidade que um cimento CEM I da mesma classe de resistência - aplicação na pré-fabricação pesada com rotatividade normal de moldes ou pré-fabricação ligeira de grande rotatividade
PORTLAND CINZENTO CEM II/ B-L	32,5N	- desenvolvimento mais lento das resistências (menor resistência inicial) - menor calor de hidratação e melhor trabalhabilidade que um cimento CEM I da mesma classe de resistência - utilizado em múltiplas aplicações de construção civil - aplicação na pré-fabricação ligeira em regime de baixa rotatividade de moldes
PORTLAND BRANCO CEM I	52,5R	- resistência muito elevada - elevado calor de hidratação - melhor trabalhabilidade que um cimento composto - reflectância superior a 85% - aplicação na pré-fabricação pesada ou ligeira pré-esforçada em regime de alta produtividade - fabrico de betões aparentes, brancos ou coloridos, de extrema resistência
PORTLAND BRANCO CEM II/ A-L	52,5N	- resistência elevada - menor calor de hidratação e melhor trabalhabilidade que um cimento tipo I da mesma classe - reflectância superior a 85% - aplicação na pré-fabricação pesada de rotatividade normal e na pré-fabricação ligeira de grande rotatividade de elementos estruturais - fabrico de betões aparentes, brancos ou coloridos, de média e elevada resistência
PORTLAND BRANCO CEM II/ B-L	32,5R	- menor calor de hidratação e melhor trabalhabilidade que um cimento tipo I da mesma classe - reflectância superior a 84% - aplicação na pré-fabricação ligeira - fabrico de betões aparentes, brancos ou coloridos, de média resistência

Quadro 3.9 – Exemplo de tipos de cimentos, suas características e aplicações. (Laboratório da Secil).

Para o fabrico de betões aparentes, o cimento branco é o mais utilizado. Excluem-se porém as situações em que as tonalidades a obter são escuras, em que se torna mais adequado o cimento cinzento corrente.

O cimento branco é um cimento *Portland* comum, produzido com matérias-primas que não apresentam coloração prejudicial à sua brancura. Assim, na sua constituição química reduz-se ao mínimo o teor dos compostos responsáveis pela cor cinzenta do cimento *Portland* corrente (óxidos metálicos e ferroaluminatos tetracálcicos). Este tipo de cimento apresenta resistência à compressão elevada em comparação com um cimento comum.

Os cimentos devem ser conforme a norma NP EN 197-1 de 2001. [25]

[25] Norma NP EN 197-1 de 2001. Cimentos, Parte 1: «Composição, especificações e critérios de conformidade para cimentos correntes.» Em SECIL (Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A.) – «*Elementos Para a Preparação de Clausúlas Técnicas Especiais de cadernos de Encargos de Obras em Betão Branco*»,p.1.

[26] Na ordem dos 400 a 600 Kg/m^3 – ver quadro sinóptico do ponto 3.1.4.

3.1.5.2 As adições

Dada a necessidade de utilização de dosagens elevadas de elementos finos[26] nos betões arquitectónicos, para assim se garantir a opacidade e a homogeneização da cor, recorre-se à introdução de adições, pois tais dosagens de cimento seriam desadequadas quer do ponto de vista económico, quer técnico. Assim, a adição de fíleres (pó de pedra) de diversas origens de acordo com a coloração a obter – calcário, mármores, granitos ou materiais siliciosos -, em dosagens variáveis entre os 60 e os 200 Kg/m^3, contribuem para a redução das dosagens do ligante, garantindo o aumento de opacidade necessária neste tipo de betões. Os fíleres têm uma granulometria inferior a 125 *microns*.

A sua capacidade de absorção reduz a água libertada em excesso aquando da vibração, minimizando a ocorrência de manchas superficiais.

No ponto 3.1.2.1 deste capítulo são apresentados alguns tipos de fíleres disponíveis no nosso mercado.

Dado ter grande influência na cor dos betões aparentes torna-se fundamental o controlo das características colorimétricas deste produto, para que se possam garantir os índices de homogeneidade pretendidos.

Ao nível normativo as características dos fíleres deverão ser avaliadas pelas normas NP EN 12620[27] e normas de ensaio respectivas (NP EN 932).

[27] Norma NP EN 12620 de 2003. «Agregados para betão.» Em SECIL (Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A.) – «*Elementos Para a Preparação de Clausúlas Técnicas Especiais de cadernos de Encargos de Obras em Betão Branco*»,p.1.

3.1.5.3 Os agregados

Os agregados representam cerca de 70% do volume total do betão e contribuem para os seus valores de resistência, porosidade e cor.

Os agregados dividem-se, quanto à sua granulometria[28], em duas classes principais: agregado fino (areia) e agregado grosso (godo ou brita). Por vezes há mais de um tipo de areia (uma areia grossa e uma fina) e normalmente mais de uma classe de agregado grosso, com o fim de minimizar a segregação. As granulometrias utilizadas são muito variadas, desde partículas com 20 a 30mm até apenas alguns *microns* de diâmetro dependendo do tipo de betão a realizar.

Os agregados têm origens muito variadas (mármores, granitos, calcários, seixos, basaltos) e na elaboração de betões arquitectónicos pode-se empregar outro tipo de resíduos, como o vidro, em função do tipo de acabamento que se pretenda.

O cuidado centra-se em garantir que o agregado escolhido não diminui o nível de resistência do betão à compressão.

Deve ser assegurada a homogeneidade de fornecimentos, quer em termos dimensionais, quer de coloração e características físicas e mecânicas do material. Assim como a inexistência de teores de argilas e materiais solúveis que causariam efeitos indesejáveis no aspecto final do betão.

Ao nível normativo, os agregados devem obedecer aos requisitos da norma NP EN 12620 de 2003 e à especificação LNEC E454, relativamente às suas características, condições de fornecimento e armazenagem.

[28] A análise granulométrica é realizada numa série de peneiros com aberturas de malhas normalizadas, em que se faz a distribuição, em percentagem, dos diversos tamanhos de grãos dos agregados.

3.1.5.4 A água.

Deve ser preferencialmente potável e estar em conformidade com o estipulado na norma NP EN 1008 de 2003. [29]

[29] Norma NP EN 1008 de 2003. «Água de amassadura para betão: Especificações para amostragem, ensaio e avaliação da aptidão da água, incluindo água recuperada nos processos da indústria do betão pronto, para o fabrico do betão.» Em SECIL (Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A.) – «*Elementos Para a Preparação de Clausúlas Técnicas Especiais de cadernos de Encargos de Obras em Betão Branco*»,p.1.

3.1.5.5 Adjuvantes.

Já os romanos empregavam substâncias que hoje denominamos por adjuvantes: o leite, como introdutor de ar; o sangue, que além de introdutor de ar conferia características plastificantes; ou a banha, um hidrófugo e introdutor de ar.

A introdução de um adjuvante no betão tem como objectivo a melhoria de uma determinada propriedade, como aumentar a trabalhabilidade, acelerar ou retardar a presa, conferir maior resistência ao ciclo gelo/degelo, permitir a redução das dosagem de água, aumentar a impermeabilidade, as resistências mecânicas e assegurar uma cor uniforme e facilmente reprodutível.

Os adjuvantes são adicionados ao betão em quantidades inferiores a 5% do peso em cimento. É de notar a diferenciação entre adjuvantes e adições, estas empregues em dosagens superiores a 5%.

Os adjuvantes, embora com uma acção caracterizada pela multiplicidade de efeitos, são classificados segundo a sua acção principal sobre as propriedades do betão. Assim, temos os redutores da água de amassadura (plastificantes), os superplastificantes, os introdutores de ar, os aceleradores e retardadores de presa, os aceleradores do endurecimento, os hidrófugos, os pigmentos, os fungicidas, germicidas e insecticidas e os polímeros orgânicos ou resinas sintéticas. [30]

[30] Para um estudo mais aprofundado ver COUTINHO, A. De Sousa – «*Fabrico e Propriedades do Betão*», Vol.I, p.311 a 363.

Descrevem-se as principais características dos adjuvantes referidos:

PLASTIFICANTES	- permitem diminuir a água de amassadura - aumentam da trabalhabilidade - diminuem a retracção
SUPERPLASTIFICANTES	- produtos com as mesmas características dos plastificantes, mas que permitem obter valores muito elevados da redução água/cimento (A/C), 20 a 30%, para trabalhabilidades iguais sem influências no processo de hidratação - conferem uma consistência muito fluída
INTRODUTORES DE AR	- introduzem bolhas esféricas de ar minúsculas, distribuídas uniformemente no betão - conferem maior resistência ao ciclo gelo/degelo
RETARDADORES DE PRESA	- reagem com o cimento Portland permitindo que as reacções de cura do betão não se realizem e, portanto não faz presa e permanece mole e sem consistência
ACELERADORES DE PRESA	- contrariamente aos retardadores de presa os aceleradores aceleram a presa e são utilizados em trabalhos urgentes
ACELERADORES DO ENDURECIMENTO	- activam a hidratação do cimento, ou seja, o calor de hidratação desenvolve-se mais rapidamente
HIDRÓFUGOS DE MASSA E DE SUPERFÍCIE	- reduzem a permeabilidade
PIGMENTOS	- introduzem coloração no betão
FUNGICIDAS, GERMICIDAS E INSECTICIDAS	- impedem o crescimento de fungos, algas, líquenes, etc., no betão endurecido
POLÍMEROS ORGÂNICOS	- aumentam a compacidade do betão

Quadro 3.10 – Principais características dos adjuvantes.

Os adjuvantes devem cumprir o estipulado na normativa aplicável, ou seja, a NP EN 934-2 de 2003. [31]

[31] Norma NP EN 934-2 de 2003. «Adjuvantes para betão, argamassas e caldas de injecção, parte 2: Definições, requisitos, conformidade, marcação e rotulagem.» Em SECIL (Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A.) – «*Elementos Para a Preparação de Clausúlas Técnicas Especiais de cadernos de Encargos de Obras em Betão Branco*»,p.2.

3.2 O sistema produtivo

3.2.1 A pré-fabricação

O presente trabalho centra o sistema produtivo no âmbito da prefabricação pelo que se torna importante definir e clarificar o conceito básico que lhe está associado.

«A pré-fabricação é uma das 2 grandes vias da construção industrializada». [32]

Um elemento ou um sistema só é considerado prefabricado se for realizado em fábrica, independentemente da sua realização ser artesanal, em oficina, com um baixo grau de mecanização e com uma racionalização elementar, ou numa fábrica automatizada.

Assim, define-se pré-fabricação como sendo a produção, fora da obra, de partes da construção, aptas para serem utilizadas mediante distintas acções de montagem.

O uso de elementos prefabricados não implica necessariamente a industrialização do sistema construtivo. Tome-se como exemplo a produção em série de tijolos em adobe, na época romana, em que a produção assentava num processo artesanal.

Por outro lado, a realização de uma construção industrializada não requer necessariamente a pré-fabricação, de que é exemplo a industrialização das cofragens de betão, utilizadas no conhecido sistema de cofragem túnel.

Porém, a pré-fabricação alicerçada em procedimentos industrializados, capazes de suportar variações nos elementos produzidos, incluindo dimensionais, permite a rentabilização de todo o processo produtivo.

[32] REAES PINTO, A. - «*A Pré-fabricação na Indústria da Construção*», 1º Congresso Nacional da Indústria de Pré-fabricação em Betão, vol.1, p.60.

3.2.2 A industrialização

A industrialização é entendida «como uma organização que aplica os melhores métodos e tecnologias ao processo integral da procura, desenho, fabricação e construção» [33], constituindo um estado de desenvolvimento da produção associada a um novo conceito de organização do trabalho como são exemplo

[33] GARCÍA, Alfonso – «*Las Tecnologias de la Industrializacion de los edificios de vivenda*», p.19.

os estudos de Taylor, Ford, Gantt, Gilberth entre outros.
Esta reflexão sobre os métodos empregues no trabalho levaram a aumentos de produção e, consequentemente, à redução dos custos, pelo aperfeiçoamento do conhecimento adquirido.

A história da construção tem um desenvolvimento paralelo com a história da organização do trabalho. [34]

[34] Desde as civilizações egípcia, grega e romana encontram-se corporações e equipas técnicas e artísticas que formavam verdadeiras equipas interdisciplinares de trabalho.

A história da pré-fabricação começa com o nascimento das civilizações históricas, onde se encontram as primeiras experiências de organização do trabalho e da produção, que servem de base à industrialização da construção.

O conceito de trabalho global prende-se com a organização antecipada desde a concepção (projecto), fabricação (produção), transporte, montagem, ligações, planeamento, preparação do trabalho, controlo de qualidade e estimativa de custos. [35]

[35] Como exemplo refere-se a complexidade da arquitectura gótica que requeria uma rigorosa organização de obra e uma forte disciplina entre o grande número de operários. Era necessário um profundo estudo da estereotomia da pedra e uma concepção integral e antecipada, que reduzisse ao mínimo os erros e as tolerâncias.

Com a revolução industrial, ocorre a introdução assumida e consciente do trabalho organizado e mecânico, com a consequente mudança, até aos nossos dias, do papel do ser humano, imerso pela marcha da produção, face à descoberta da máquina, convergindo para a industrialização a maior parte dos objectivos de realização humana.

Blachère[36] define industrialização segundo uma equação:

[36] Citado por: GARCÍA, Alfonso – «*Las Tecnologias de la Industrializacion de los edificios de vivenda*», Vol.1, p.19.

INDUSTRIALIZAÇÃO = MECANIZAÇÃO + RACIONALIZAÇÃO + AUTOMAÇÃO

Ou seja, a industrialização reflecte um novo pensamento: há a mecanização de operações, libertando o homem de tarefas ingratas, há uma racionalização de todo o processo industrial e empresarial (projecto, gestão, tecnologias), e a automação e o seu ramo da robótica liberta o homem de trabalhos monótonos e repetitivos, por vezes perigosos.
O objectivo é produzir mais, com menos custos e com mais qualidade.
Ainda sobre estes dois conceitos de industrialização da construção e de pré-fabricação transcrevem-se algumas

definições elaboradas por alguns autores e sintetizadas por José Ordóñez: [37]

- A industrialização é a mecanização do projecto de construção em série; é pôr ao serviço da produção todos os avanços da técnica actual; industrialização da construção é o emprego de forma racional e mecanizada de materiais, meios de transporte e técnicas construtivas para conseguir uma maior produtividade; é um feito organizativo, uma mentalidade. Significa transformar a empresa de construção de mentalidade artesanal numa verdadeira indústria; é um método produtivo, estabelecido sobre processos mecanizados e/ou organizados, de carácter repetitivo; define-se como a integração total do desenho, *marketing* e montagem em ordem a fazer o melhor uso possível dos meios e recursos disponíveis.

- A pré-fabricação é definida como:
  - uma tendência para simplificar a construção mediante o aumento da proporção do trabalho executado antes da montagem;
  - uma operação de montagem;
  - é uma forma de manifestar a industrialização;
  - um método industrial de construção em que os elementos fabricados em grandes séries, por métodos de produção em massa, são montados na obra mediante dispositivos de elevação;
  - a produção de elementos de construção fora do lugar do seu destino definitivo, tratando-se de elementos que, na construção tradicional, se realizariam *in situ*;
  - um método avançado e actual de construção de betão armado;
  - construção prefabricada é aquela cujas partes construtivas são, na sua maioria, executadas em série, em oficina ou fábrica, com a precisão dos métodos industriais modernos, para formar um sistema construtivo coerente.

[37] ORDÓÑEZ, José – «*Prefabricacion teoría y práctica*», Vol.1, p.31 e 32.

3.2.3 A Pré-fabricação e a realização *in situ*

A possibilidade da realização prévia de elementos prefabricados em betão, fora da obra, para além do usual betão realizado *in situ,* conduz a uma nova forma de entender o betão e dos sistemas construtivos que lhe estão associados.
As condições climatéricas já não são factores que condicionam a sua realização, pois esta desenvolve-se em lugares protegidos; os moldes podem ser colocados em posições mais cómodas para a betonagem, assim como são optimizados quanto ao número de utilizações; as características das matérias-primas podem ser melhor controladas, tal como as fases de vibração e de descofragem.
À indiscutível melhoria de qualidade associam-se problemas que podem resultar do transporte dos elementos prefabricados: limitação das suas dimensões e previsão de sistemas de elevação e manuseamento.

Pode-se afirmar-se que este sistema de produção encaminha todo o procedimento construtivo para uma construção por montagem, o que leva a um maior investimento na fase de concepção arquitectónica e no controlo da fabricação dos elementos.
Por outro lado, há uma antecipação das anomalias relacionadas com a qualidade, assegurando-se, em obra, o emprego de elementos prefabricados que cumpram as exigências estabelecidas em projecto.

Segundo Reaes Pinto: «O estaleiro tende a tornar-se um local de montagem de produtos industrializados e de componentes pré-fabricados, donde são retiradas intervenções para a fábrica, e a redução dessas intervenções na obra favorece as condições de trabalho, a redução de pessoal, a coordenação de todas as actividades que nele se praticam, e ainda a redução do número de resíduos.» [38]

[38] REAES PINTO, A. - «*A Pré-fabricação na Indústria da Construção*», 1º Congresso Nacional da Indústria de Pré-fabricação em Betão, Vol.1, p.59.

[39] KONCZ, Tihamér – «*Manual de la Construcción Prefabricada*», Vol.1, p.5.

No quadro seguinte são expostas as principais vantagens e desvantagens dos sistemas de construção por montagem: [39]

VANTAGENS DOS SISTEMAS DE CONSTRUÇÃO POR MONTAGEM
1.Maior importância ao acto de concepção, o que privilegia, por um lado o acto criativo do projectista e, por outro, oferece uma maior garantia de obtenção de qualidade no produto final, pela possibilidade que permite no controlo das peças antes da sua colocação em obra;
2.Faz parte do projecto a integração/contemplação das infraestruturas necessárias, pelo que se dispensa a abertura de roços (em termos psicológicos não há destruição);
3.A duração dos trabalhos em obra encurta-se, limitando-se apenas ao tempo da montagem dos elementos prefabricados e da preparação do terreno;
4.O método de execução da obra é simplificado, já que é realizado em seco;
5.Há uma redução nos materiais usados em obra, de como são exemplo as cofragens;
6.Como há um maior controlo da produção dos elementos prefabricados é possível reduzir a sua secção, tornando-os mais esbeltos, o que pode favorecer a disciplina do projecto;
7.Redução da mão-de-obra e melhoria das condições de trabalho;
8.A construção faz-se independentemente das condições climatéricas.

DESVANTAGENS DOS SISTEMAS DE CONSTRUÇÃO POR MONTAGEM
1.O transporte das peças prefabricadas implica custos e dificuldades mais elevadas do que se tratasse de materiais de construção. É necessária a contemplação deste factor na concepção dos sistemas prefabricados;
2.Exige uma planificação rigorosa da montagem e da assemblagem dos elementos que constituem o sistema;
3.Existem gastos adicionais em função dos condicionamentos técnicos do sistema de pré-fabricação.

Quadro 3.11 – Principais vantagens e desvantagens dos sistemas de construção por montagem.

A principal diferença entre a realização de betão *in situ* e do uso de elementos prefabricados prende-se com a qualidade obtida. O betão prefabricado é um material produzido em fábrica, logo a sua forma de produção eleva consideravelmente as magnitudes de todas as suas características físicas – a resistência mecânica, o acabamento da superfície, etc. – dado o controlo e precisão próprios da fabricação industrial.

O betão betonado *in situ* assume um carácter amorfo que aceita a indeterminação, ao contrário da precisão que exige o betão prefabricado.
Outra característica inerente à construção com betão prefabricado é a descontinuidade do sistema. As juntas entre elementos prefabricados reduzem parcialmente a continuidade e o monolitismo das obras – que é a principal qualidade das estruturas realizadas *in situ* - pelo que a resolução das suas ligações é determinante para o comportamento do sistema para que estas não representem um ponto fraco da pré-fabricação. [40]

[40] É de referir, novamente, o acidente ocorrido no edifício londrino *Ronan Point*, em 16 de Maio de 1968, que levou à modificação da concepção das juntas, pela introdução de reforços metálicos que assegurassem a continuidade estrutural nas juntas.

3.2.4 As juntas em pré-fabricação

> «*The joint, that is the fertile detail, is the place where both the construction and the construing of architecture takes place. Furthermore, it is useful to complete our understanding of this essential role of the joint as the place of the process of signification to recall that the meaning of the original Indo-European root of the word art is joint.*» [41]

[41] FRASCARI, Marco – «*The Tell-the-Tale Detail*», p.501.

O detalhe das juntas constitui um dos problemas cruciais da construção prefabricada. Segundo Salas Serrano[42] debaixo da denominação *juntas* incluem-se todas as zonas de união entre elementos, nas quais é necessário reconstituir uma continuidade de diversos tipos: estática, térmica, acústica, de estanquidade à água e ao ar, estética, entre outras.
As juntas podem situar-se entre elementos da mesma natureza e função, entre elementos diferentes ou entre partes de edifício. A complexidade de funções que têm de cumprir faz do seu projecto, fabricação e execução os momentos chave do processo de pré-fabricação.

[42] SERRANO, Julián Salas – «*Elementos de Edificacion*», p.VI.1.

A construção por elementos prefabricados pressupõe a concepção de conexões entre os diversos componentes, capazes de assegurar a estabilidade da construção e de transmitir os esforços solicitados (solicitação estrutural), assim como conseguir uma continuidade física entre os elementos contíguos à junta (solicitação funcional).

A definição de metodologias normalizadas para conceber e executar as juntas adequa-se no sentido de fomentar o desenvolvimento de sistemas prefabricados abertos. Nos casos em que a construção é projectada, fabricada e montada debaixo de um determinado sistema não existe esta necessidade de normalização.

A normalização do tipo de juntas pode ser encontrada em documentos ao nível nacional e internacional – as normas – que sintetizam toda a informação resultante da investigação realizada sobre o assunto.

É de notar a investigação realizada pelo Professor Amorim Faria[43] nesse domínio, pela pesquisa de diversas normas estrangeiras. Segundo o autor, as normas mais importantes sobre o assunto, à data da elaboração do documento são:

- ISO 2444, de 1988 e que se prende com a terminologia das juntas na construção;
- ISO 2445, de 1972, trata os princípios fundamentais da concepção do desenho das juntas na construção, em função das suas propriedades geométricas, estruturais e ambientais;
- ISO 3447, de 1975, onde é apresentada uma *check-list* das funções que as juntas devem desempenhar de modo a satisfazerem as exigências de desempenho que lhes são exigíveis;
- ISO 6589, de 1983, em que é testada a permeabilidade das juntas ao ar;
- ISO 7727, de 1984, que aborda as questões dos desvios dimensionais que as juntas devem absorver durante a construção.

[43] FARIA, José – «*Divisórias Leves Prefabricadas*», p.34.

Toda a construção é formada pela ligação de vários elementos e entre eles formam-se as juntas.

No caso das ligações entre elementos estruturais prefabricados em betão o problema da união foi abordado, tradicionalmente, com duas técnicas diferentes: ou por simples apoio (que se reduz a construções muito elementares e que necessita de um sistema de estabilização), ou através de uniões rígidas, solidarizadas durante o processo de montagem das peças independentes.

Por ligação entende-se «a interface de transmissão de esforços entre dois elementos prefabricados adjacentes ou entre um elemento prefabricado e um elementos moldado em obra.» [44]
Dada a grande variedade de soluções possíveis na realização das ligações das estruturas prefabricadas o autor classifica-as em função do tipo de elementos ligados, da natureza do esforço predominante transmitido e do seu processo de execução.

[44] POMPEU DOS SANTOS, Silvino – «*Ligações de Estruturas Prefabricadas de Betão*», p.5.

No âmbito do presente trabalho o interesse é conduzido para uma das ligações em função do seu processo de execução:
- as *ligações aparafusadas*, em que os elementos prefabricados são ligados entre si através de parafusos ou, mais frequentemente, o aparafusamento é realizado entre peças metálicas fixadas aos elementos prefabricados. Esta técnica de ligação permite uma grande rapidez de montagem, não necessitando de tanto trabalho em obra. Exige contudo uma grande precisão no fabrico dos elementos prefabricados, nomeadamente o correcto posicionamento das armaduras ou de outros elementos metálicos, particularmente no caso da utilização de uniões roscadas.

Ainda segundo o processo de execução, podem-se encontrar ligações do tipo:
- *ligações soldadas*, em que se soldam, em obra, elementos metálicos salientes dos elementos prefabricados a unir;
- *ligações pré-esforçadas*;
- *ligações de continuidade betonadas em obra*;
- *ligações coladas*;
- e, *ligações de apoio simples*. [45]

[45] Para um estudo mais aprofundado pode ser consultado o estudo efectuado por POMPEU DOS SANTOS, Silvino – «*Ligações de Estruturas Prefabricadas de Betão*», p.7.

As ligações baseadas em procedimentos próprios das estruturas metálicas (aparafusadas, soldadas ou coladas à base de resinas) impõe aos elementos constituintes das juntas tolerâncias dimensionais mais reduzidas do que as empregues usualmente, tanto no fabrico como no posicionamento dos elementos prefabricados em obra.
As ligações de elementos estruturais têm como principal exigência a cumprir a da segurança estrutural; porém, exigências como as de aspecto estético e de custo são também

importantes, pelo que devem ser consideradas desde a concepção das soluções.

3.2.5 As tolerâncias dimensionais

Nos sistemas prefabricados de construção os elementos são fabricados de tal forma que o seu acabamento e precisão permitem utilizá-los directamente. Assim, em obra não pode acontecer o que usualmente é feito na construção tradicional em que, para realizar a união de elementos adjacentes, se recorre à ruptura dos mesmos para conseguir a medida necessária.

Contudo os desvios dimensionais e de posicionamento são inevitáveis durante o processo de fabrico e de montagem dos elementos prefabricados em betão, pelo que ao conceber um sistema de pré-fabricação é fundamental ter em conta esses erros, pela definição de tolerâncias de fabrico e de montagem.

A variação das dimensões dos elementos durante o fabrico é normalmente devida aos defeitos dos moldes que, pela sua utilização repetitiva, são submetidos a reparações, causando desvios por vezes consideráveis em relação às dimensões estipuladas em projecto.
Os desvios dimensionais durante a montagem são causados por diferenças de posicionamento dos elementos prefabricados em relação às cotas de projecto, ou consequência dos próprios desvios dimensionais ocorridos durante a fabricação.

As diferenças entre as dimensões projectadas e as realmente fabricadas devem-se manter dentro de limites controlados que permitam a montagem e o acabamento dos elementos prefabricados sem retoques, nem cortes. Assim, as dimensões definidas não são exactas, mas sim compreendidas entre um intervalo de valores: a dimensão mínima e a dimensão máxima admitidas.
Assim, para se garantir a eficiência da montagem dos vários elementos prefabricados e assegurar o cumprimento das exigências que lhes são solicitadas, as juntas têm de ter a

capacidade de absorver os desvios dimensionais e de posicionamento dos elementos.

Os desvios dimensionais permitidos aos elementos prefabricados têm que ser compatíveis com os desvios permitidos às juntas entre elementos.

A definição dos intervalos das tolerâncias, quer no fabrico, quer na montagem são alvo de investigação, de que resultam documentos normativos, à semelhança das juntas. [46]
Embora não existam especificações portuguesas sobre tolerâncias de fabricação e montagem, a referência recairá sobre as que aparecem no estrangeiro de que se destacam as seguintes: Norma alemã DIN 18203, recomendações do Instituto Americano ACI (*American Concrete Institute*), as recomendações belgas do CSTC (*Centre Scientifique et Technique de la Construction*) e as regras de construção francesas DTU (*Document Technique Unifié*). [47]

[46] Como não constitui objectivo do presente trabalho a abordagem exaustiva ao nível normativo remete-se o seu estudo para a pesquisa elaborada por FARIA, José – «*Divisórias Leves Prefabricadas*», p.33.

[47] As especificações referidas estão expostas em:
– GARCÍA, Alfonso – «*Las Tecnologias de la Industrializacion de los edificios de vivenda*», Vol.2, p.37 a 41.
– SERRANO, Julián Salas – «*Elementos de Edificacion*», p.III.14.
– CATED – «*Tolérances Dimensionnelles*», p.29.

3.2.6 A coordenação modular

A coordenação modular é um sistema que serve de referência para a compatibilização espacial e dimensional de todos os elementos presentes numa obra. Essa compatibilização pode ser realizada mediante um método que implica o emprego de um módulo básico ou de multi-módulos.

A coordenação modular estabelece uma linguagem gráfica, descritiva e de especificações que é comum a fabricantes, projectistas e construtores e que pode ser aplicada nas diversas etapas do processo de produção, desde a concepção inicial do projecto até à sua execução em obra.

Julián Serrano[48] destaca os objectivos da prática da coordenação modular levada a cabo pelo grupo SAR[49] (*Stichting Architecten Research*):

1. Facilita a cooperação entre desenhadores, fabricantes, distribuidores e promotores;
2. Permite o emprego de componentes de dimensões

[48] SERRANO, Julián Salas – «*Elementos de Edificacion*», p.XI.23.

[49] O grupo SAR (*Stichting Architecten Research)* foi constituído em 1965 por um grupo de dez estudantes de arquitectura holandeses que adoptaram alguns princípios básicos de projecto, mediante a elaboração de bases, que foram acolhidas internacionalmente.

standard na construção de diferentes tipos de edifícios;

3. Simplifica a preparação de projectos, possibilitando determinar as dimensões de cada componente no edifício e a sua posição em relação a outros componentes e ao edifício como um todo;
4. Optimiza o número de dimensões estandardizadas dos componentes;
5. Permite o intercâmbio destes componentes, sem preocupação com o material, forma ou método de fabricação;
6. Simplifica os trabalhos *in situ* mediante a racionalização da colocação e união dos componentes de forma a reduzir ao mínimo o tempo necessário para a montagem;
7. Assegura uma coordenação dimensional entre instalações, unidades de armazenamento e equipamentos complementares com o resto do edifício.

A prática da coordenação dimensional, nos anos 50, teve um carácter excessivamente teórico e académico, em que a modulação apareceu como base indispensável à industrialização da construção. Porém, com a presença massiva dos sistemas fechados de pré-fabricação, o uso inicial do sistema de coordenação dimensional foi reduzido. Este ressurge, com um carácter mais pragmático, como suporte da *segunda geração tecnológica* no campo da industrialização: os sistemas abertos de produção - sistemas de execução em que há a consciência das exigências dos utentes, respondendo também às exigências económicas e tecnológicas das empresas construtoras.

O uso explícito do sistema modular tem a sua origem nos períodos grego e romano e repete-se, na história da arquitectura, em distintos momentos por razões culturais e técnicas que tendem a racionalizar e a ordenar as coisas. O uso de modulação prendia-se com o objectivo de conseguir uma proporção harmónica entre as partes que constituem o edifício.
A modulação nos sistemas industrializados torna-se a base para melhorar a fabricação, a construção e a montagem dos elementos.

Entende-se por módulo na construção «a eleição de um parâmetro, ou unidade de magnitude, como referência para determinar a coordenação dimensional das partes de um organismo arquitectónico.» [50]

A *unidade de magnitude* para a coordenação dimensional pode ser linear (módulo-medida) ou tridimensional (módulo-objecto).[51]

Por convenção de várias organizações internacionais que se ocupam do tema, a unidade de medida linear para a coordenação dimensional foi estabelecida como módulo-base 1dm=1M. [52]

A coordenação dimensional dos componentes industrializados assume valores múltiplos, iguais ou submúltiplos do módulo-base.

No caso de se tratar de um entidade tridimensional real com atributos dimensionais próprios que determinam a coordenação dimensional do conjunto, são as suas características morfológicas que representam o módulo, repetível e regulador da configuração e da conformação do organismo arquitectónico.

Ao nível normativo referem-se os principais documentos realizados sobre o assunto: a norma alemã DIN 18000 e a norma inglesa BS 6750. Em Portugal o único documento realizado foi a norma portuguesa NP 88, mas com uma abordagem muito genérica. [53]

[50] MANDOLESI, Enrico – «*Edificación*», p.209.

[51] Já em 1958, Argan defendia a eminente utilização em projecto do módulo-objecto em detrimento do módulo-medida. Citado por SERRANO, Julián Salas – «*Elementos de Edificacion*», p.XI.1.

[52] Nos Estados Unidos o módulo-base é de M=4 polegadas e na Alemanha M=125mm.

[53] FARIA, José – «*Divisórias Leves Prefabricadas*», p.26.

Fig. 3.25 – Fabrico das armaduras. (*PRÉGAIA*).

Fig. 3.26 – Moldes. (*PRÉGAIA*).

Fig. 3.27 – Limpeza das cofragens. (*PRÉGAIA*).

Fig. 3.28 – Montagem das armaduras. (*PRÉGAIA*).

3.2.7 O processo de fabricação

O processo de fabricação de elementos prefabricados passa por várias fases:

1. A preparação dos moldes (construção, limpeza e aplicação de materiais descofrantes);
2. A colocação das armaduras e dos elementos que ficam embutidos nos componentes de betão (caixas de instalações, ancoragens, peças para a elevação, etc.);
3. A betonagem;
4. A vibração com agulha ou com mesa de vibração, no caso de não ser um betão auto-compactável;
5. O período de cura;
6. A desmoldagem;
7. O controlo de qualidade;
8. A armazenagem dos elementos em fábrica por grupos de famílias, colocados na mesma posição que assumirão definitivamente, sobre paletes de madeira ou em cavaletes que permitam o fácil movimento para posterior transporte para obra. Durante este tempo é completada a fase de cura.

Os moldes assumem um papel preponderante no fabrico de elementos prefabricados, já que permitem dar ao betão a forma projectada. Além desta função protegem o betão fresco da perda dos ingredientes mais fluidos, como a água, garantindo o processo químico do seu endurecimento e assegurando a sua resistência mecânica.

A escolha do tipo de moldes depende do número de vezes que podem ser utilizados, do método (*in situ* ou pré-fabricação) e tempo necessário para se conseguir a forma final do betão, do tipo de betão que vão moldar e dos materiais de construção dos próprios moldes. No caso de betões arquitectónicos aparentes, a qualidade do acabamento final depende também do molde utilizado.

Os moldes normalmente usados são em madeira, compostos por peças maciças ou laminadas (contraplacado marítimo), de 12 a 35 milímetros de espessura, protegidas da agressividade do betão por uma película fenólica que actua contra o ataque químico do betão e contra a absorção de humidade do molde. São também usados moldes metálicos em chapa de aço.

Fig. 3.29 – Betonagem. (*PRÉGAIA*).

Fig. 3.30 – Painel em cura. (*PRÉGAIA*).

Fig. 3.31 – Armazenamento. (*PRÉGAIA*).

Fig. 3.32 – Armazenamento. (*PRÉGAIA*).

[54] Para um estudo mais aprofundado ver COUTINHO, Joana – «*Cofragem de Permeabilidade Controlada (CPF): durabilidade e acabamento perfeito em pré-fabricação*», 1º Congresso Nacional da Indústria de Pré-fabricação em Betão, vol.1, p.211.

Mas, o desafio centra-se na nova geração de moldes em aço *inox*, elastómeros, painéis compósitos de fibra de vidro e resina poliéster, de acrílicos e os moldes pneumáticos, insufláveis, que permitem formas esféricas ou ovóides.
Os moldes podem ser recuperáveis ou utilizados como cofragem perdida ficando embebidos no betão endurecido. No caso de se voltarem a utilizar há que prever, além da técnica a empregar para a descofragem, os trabalhos de limpeza, armazenagem e manutenção posterior.
Faz-se também referência a um novo método para melhorar a qualidade de acabamento das superfícies em betão aparente, pelo uso de uma Cofragem de Permeabilidade Controlada (CPF), que consiste na colocação de um filtro/dreno junto ao molde que permite a libertação e drenagem de ar e água em excesso, mas retendo as partículas de cimento à superfície do betão. [54]

3.2.8 O Transporte e a montagem

Quando se recorrem a sistemas construtivos prefabricados é fundamental pensar à partida nos problemas inerentes ao transporte desses elementos: as suas dimensões, a forma e o peso; os sistemas para agarrar e manusear as peças; as vias de comunicação e os veículos de transporte.

Com o objectivo de reduzir o número de uniões a realizar, os elementos prefabricados assumem cada vez mais dimensões maiores, apontando para uma tendência de emprego de células tridimensionais cujo transporte é mais difícil. No entanto, uma vez colocados em obra os meios de elevação asseguram o seu fácil manuseamento.

Devem ser assegurados os requisitos e cuidados para que os elementos prefabricados sejam protegidos de quebras das arestas e eventuais sujidades, de forma a não comprometer o trabalho até então realizado.

Na montagem dos elementos prefabricados tem que se garantir o máximo de precisão, sendo apenas permitidas as tolerâncias

de montagem definidas em projecto. É uma operação que requer uma mão-de-obra especializada e uma coordenação de trabalhos de elevação, colocação e fixação. A capacidade dos meios de elevação deve ser seleccionada em função do peso e das características dos elementos a montar.

CAPÍTULO 4 | O Projecto do Sistema de Mobiliário Urbano

4.1 Concepção do sistema

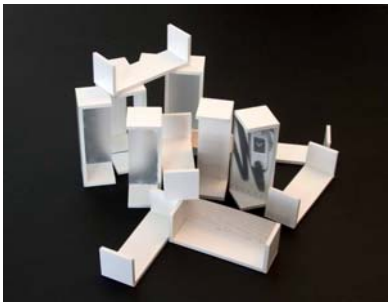


Fig. 4.1 – Maquetas dos elementos prefabricados que constituem o sistema.

> *«É necessário de resto – até preconizando uma pré-fabricação e uma seriação integral – conseguir uma arquitectura em que a forma exprima e semantize não só a sua função técnica e utilitária, como a sua função signo-simbólica; e, em que, por outro lado, o elemento modular, pré-fabricado, de série, seja concebido sempre em função da sua integração num ambiente urbano preciso – antes, verdadeiramente territorial ou regional – de modo a constituir o peão indispensável desse precioso jogo compositivo pelo qual o homem construirá amanhã – como construiu ontem – o panorama autónomo do 'seu estar no mundo'.».* [1]

O sistema de mobiliário urbano desenvolvido assenta numa solução integrada de desenho modular, constituída por elementos prefabricados em betão, cuja unidade mínima espacial – o módulo – dá lugar, dada a capacidade de agregação, a múltiplas configurações espaciais, de que são exemplo a cabina telefónica, o painel publicitário, a paragem ou o quiosque.

Para além do elemento estrutural principal (em betão pré-moldado), integram o sistema um conjunto de componentes secundários que o complementam e permitem uma grande versatilidade de adaptação às necessidades impostas por cada uma das situações.

O sistema desenvolvido enquadra-se num sistema prefabricado aberto, de forma a possibilitar uma constante evolução dos componentes e, não se constituir, à partida, num sistema imutável, fechado, que corre o risco de *implodir*.

O novo uso proposto à utilização de betão em programas de

[1] Para Gillo Dorfles o caminho futuro da arquitectura reside na sua concepção "mais como a fusão entre ambiente, terreno, atmosfera e estruturas pré-fabricadas, do que como uma implantação de modelos construtivos indiferenciados". DORFLES, Gillo – «*O Devir das Artes*», p.150.

que é exemplo o de mobiliário urbano, deve-se, também, à capacidade deste material de dar resposta à *função signo-simbólica* - pelas possibilidades expressivas que oferece, ao nível dos acabamentos - exigida a este tipo de equipamentos, integrados em ambientes urbanos específicos.

4.2 Elementos constituintes do sistema

4.2.1 O módulo
A | A forma arquitectónica

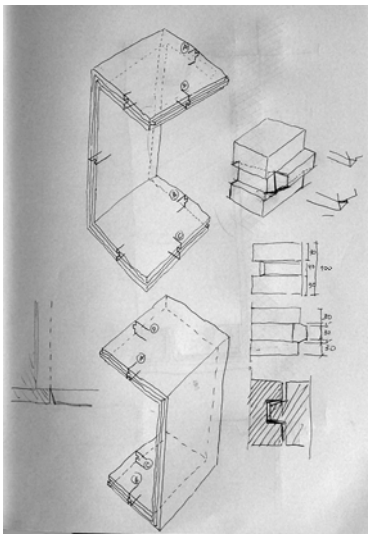


Fig. 4.2 – Desenhos de estudo da solução e respectivo sistema de encaixe.

Da análise dos elementos urbanos disponíveis no mercado, definiu-se um módulo que constituísse um elemento construtivo de série enquanto *componente* com substanciais graus de *combinabilidade* e *acoplabilidade*.
Assim, o módulo definido é um objecto tridimensional que, pelas suas características morfológicas, representa o *módulo-objecto* que, ao ser repetido, regula a configuração e a conformação do organismo arquitectónico.

Este *módulo-objecto* é um elemento prefabricado em betão, em forma de C, envolto por uma bordadura perimetral em perfis de aço galvanizado, pintada, que, para além de ter funções estruturais, serve de cofragem para o betão, constitui a peça de ensamblagem entre elementos e é suporte de fixação de todos os componentes secundários. [Ver desenho 1 no anexo II].

O desenho do *módulo-objecto* assenta em multi-módulos (MM) de 30 cm. Assim, tridimensionalmente, apresenta-se com as seguintes dimensões: a planta quadrada tem de lado 120cm, de altura 240cm e, de espessura 10cm, o que corresponde a 4MMx8MMx4MM. A espessura corresponde a um multi-módulo de 10 cm, suficiente para assegurar a resistência estrutural da peça, o sistema de ensamblagem e satisfazer os requisitos de esbelteza e beleza procurados no desenho formal do conjunto.
O critério dimensional apoia-se no levantamento efectuado das dimensões mais usadas no mobiliário urbano existente e da necessidade de contemplar as várias hipóteses de associação

Fig. 4.3 – Imagens do módulo-base.

modular para que se satisfizessem as dimensões particulares dos vários tipos de funções pré-estabelecidas.

As tolerâncias dimensionais durante o processo de fabrico são as seguintes:

a) na planta cujas dimensões são 1200x1200 mm admite-se um desvio de (+/ -) 5 mm, o que corresponde ao intervalo [1195,1205mm];
b) na altura de 2400 mm admite-se um desvio de (+/-) 5 mm, considerando-se o intervalo [2395,2405];
c) na espessura da peça admite-se um desvio de (+/-) 2 mm, ou seja, a dimensão de 100 mm poderá situar-se no intervalo [98,102];
d) na esquadria e na planeza não se admitem quaisquer desvios dimensionais.

B | Funcionamento estrutural

[Ver desenho 9 no anexo II].

Fig. 4.4 – Imagens da estrutura do módulo-base.

Do ponto de vista estrutural, os módulos são considerados autoportantes e a sua estabilidade é garantida autonomamente tanto para as acções permanentes como para as sobrecargas regulamentares associadas a cada tipo de uso.
A estabilidade às acções horizontais (sismos, ventos, acções acidentais) deverá ser assegurada por buchas ou chumbadouros adequados que permitam a fixação aparafusada à fundação nas zonas da bordadura metálica.
Os módulos unem-se entre si por meio de ligações aparafusadas conforme pormenor. Estas asseguram o funcionamento em conjunto dos vários módulos e permitem a versatilidade da agregação.
No presente estudo conceberam-se soluções cuja composição permite o seguinte programa: abrigo de apoio ao transporte viário colectivo, painel informativo e publicitário, cabina telefónica, quiosque e outras funções compostas. Em todas estas soluções a associação projectada assegura um funcionamento global adequado.
Em relação à ligação ao terreno e ao acerto de cotas com o pavimento existente, a solução projectada prevê a realização de

uma fundação em betão armado a dimensionar em função das características geotécnicas do solo.
Para poder carregar, descarregar, manusear e montar os módulos no seu lugar de utilização previu-se a colocação de ganchos com capacidade de carga adequada ao peso dos módulos.

C | Infraestruturas técnicas

O módulo prevê a passagem das infraestruturas técnicas necessárias ao bom funcionamento dos equipamentos urbanos para cada uma das utilizações previstas.
A alimentação eléctrica é feita através de uma caixa de derivação encastrada na peça, antes da betonagem. O acesso à caixa de derivação é feito por uma abertura, com tampa, na bordadura do módulo prefabricado.
A partir desta caixa de derivação torna-se possível encastrar a iluminação, a barra técnica da cabina telefónica ou quaisquer outros sistemas de apoio.

Fig. 4.5 – Imagens de pormenor da caixa de derivação e da passagem das infraestruturas.

Fig. 4.6 – Sistema de encaixe entre os componentes principais.

Fig. 4.7 – Ligação de dois módulos.

4.2.2 Sistema de encaixe entre os componentes principais

A ligação entre os elementos prefabricados faz-se recorrendo ao sistema de encaixe macheado do desenho da sua bordadura, previamente colocada durante a fabricação das peças, e à fixação mecânica através de parafusos, o que proporciona rapidez de montagem, uma das características principais de um sistema industrializado.
Os módulos prefabricados apresentam dois tipos de bordaduras para possibilitar o sistema de acoplagem. [Ver desenho 2 no anexo II].
Uma vez montados, resolvem conjuntamente a estrutura e o encerramento dos espaços.

A selagem das juntas é garantida pela aplicação de um cordão de silicone, de cor cinzenta. No caso das juntas localizadas na cobertura dos equipamentos, faz-se uma dupla selagem das uniões, através de uma peça de remate – componente (c29). Para além do cordão de silicone, este reforço serve para evitar a deterioração decorrente da maior pressão hidrostática, depósito de poeiras, etc.

Tanto as juntas verticais como horizontais devem ter óptimo desempenho no que respeita aos seguintes aspectos:

a) estanquidade à água;
b) absorção dos esforços devidos a flexão, a vibrações, a movimentos de retracção ou expansão provocados por diferencial térmico a que o módulo está sujeito, fadiga/envelhecimento dos elementos de preenchimento da junta que se manifestará pela inaptidão e aspecto degradado da junta;
c) segurança, pela ausência de arestas vivas que ponham em risco a saúde das pessoas pelo contacto físico com o elemento;
d) resposta a actos de vandalismo;
e) possibilitar a desmontagem/montagem e a substituição de materiais de junta obsoletos. [2]

[2] FARIA, José Amorim, «*Divisórias Leves Pré-fabricadas*», p.36.

4.2.3 Outros componentes do sistema

[Ver desenhos 7 e 8 no anexo II].

Para além do módulo prefabricado em betão, complementado com a bordadura metálica, o sistema prevê os seguintes componentes secundários realizados em fábrica:

1. (c1) – Vidro laminado temperado com as dimensões de 1050mm x 2220 mm x 12mm;

2. (c2) – Vidro laminado temperado com as dimensões de 530mm x 2220 mm x 12mm;

3. (c3) – Porta em vidro laminado temperado com as dimensões de 660mm x 2220 mm x 12mm;

4. (c4) – Vidro laminado temperado com moldura em barra chata, em aço galvanizado (80 *microns*), com as dimensões de 1650mm x 2220 mm x 12mm;

5. (c5) – Porta de vidro laminado temperado com moldura em barra chata, em aço galvanizado (80 *microns*), com as dimensões de 1140mm x 2220 mm x 12mm;

6. (c6) – Vidro laminado temperado com as dimensões de 1190mm x 2220mm x 12mm;

7. (c7) – Porta de vidro laminado temperado com moldura em barra chata, em aço galvanizado (80 *microns*), com as dimensões de 1140mm x 2220mm x 12mm, com cabos de aço para suporte de revistas;

8. (c8) – Porta de vidro laminado temperado com moldura em barra chata, em aço galvanizado (80 *microns*), com as dimensões de 1130mm x 2220mm x 12mm, com cabos de aço para suporte de revistas;

9. (c9) – Painel do tipo *Viroc* com moldura em perfil l, em chapa de aço quinada, galvanizado (80 *microns*) com 2mm esp., com as dimensões de 1140mm x 2220mm x 20mm;

10. (c10) – Painel do tipo *Viroc* com moldura em perfil l, em chapa de aço quinada, galvanizado (80 *microns*) com 2mm esp., com as dimensões de 1130mm x 2220mm x 20mm;

11. (c11) – Caixa de derivação com 58mm x 156mm x 30mm;

12. (c12) – Barra para colocação de telefone com 144mm x 1260mm x 50mm;

13. (c13) – Barra para colocação de iluminária com 144mm x 1260mm x 50mm;

14. (c14) – Iluminária de presença;

15. (c15) – Barra para colocação de tomadas eléctricas com 144mm x 1260mm x 50mm;

16. (c16) – Prateleiras;

17. (c17) – Calha com rodízios no pavimento em aço *inox AISI 316*;

18. (c18) – Painel em forma de l, em chapa de aço, galvanizada (80 *microns*) e pintada, com as dimensões de 1130mm x 2220mm x 12mm, com rodízios;

19. (c19) – Placa de informação superior;

20. (c20) – Fechadura disponível no mercado;

21. (c21) – Peça de fixação do vidro, com perno de fixação;

22. (c22) – Parafusos em aço *inox* disponíveis no mercado;

23. (c23) – Pivots em aço *inox* disponíveis no mercado;

24. (c24) – Apoio do banco em aço *inox* AISI 316;

25. (c25) – Banco em chapa de aço *inox* AISI 316;

26. **(c26)** – Chapa de pavimento, em aço *inox* AISI 316 antiderrapante;

27. **(c27)** – Painel de informação;

28. **(c28)** – Tampa de ocultação do canal de infraestruturas;

29. **(c29)** – Peça de remate das juntas;

30. **(c30)** – Vidro laminado temperado com moldura em barra chata, em aço galvanizado (80 *microns*), com as dimensões de 1210mm x 2220 mm x 12mm.

A sistematização destes componentes foi concebida para os tipos de usos projectados pelo que para outras utilizações do módulo, podem ser introduzidos, se necessário, novos componentes.

4.3. Soluções – tipo, por associação do módulo

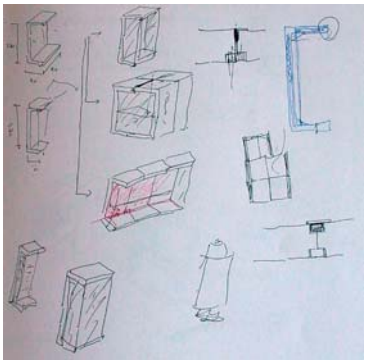


Fig. 4.8 – Desenvolvimento do sistema modulado integrado

No presente trabalho definiram-se algumas possibilidades de associação, que no entanto não esgotam as suas possibilidades de agregação e adaptação a outros usos como, por exemplo: cabinas de cobrança em parques de estacionamento; espaços para exposições; equipamentos de apoio de praia; postos de recolha de lixo (PRL), cabinas Multibanco.

Tendo em conta a flexibilidade quase total na organização dos módulos e a respectiva associação para formar vários usos, destacam-se a seguir algumas das soluções – tipo definidas.

Fig. 4.9 – Imagem do painel publicitário.

PAINEL DE AFIXAÇÃO DE INFORMAÇÃO [Ver desenho 4 no anexo II].	O painel de afixação de informação é concebido para a sua utilização em conjunto com outras funções ou, eventualmente, isolado. Dispõe de duas faces de afixação de fácil acesso e manuseamento. O sistema de iluminação que dispõe, por transparência, contribui para aumentar a iluminação pública, e, consequentemente, aumentar as condições de segurança urbana e a sua visualização, sem causar encandeamento.

COMPONENTES:	- principais: 1 módulo – objecto (M/F) - secundários: 1x (c4) 1x (c5) ou (c9) 3x (c11) 3x (c14) 1x (c20) 2 x (c23)
DIMENSÕES EXTERIORES	1200mm x 1200 x 2400 (comp. x larg. x alt.)
FUNDAÇÃO	Fundação em maciço de betão executado no local, incluindo abertura para ligação eléctrica e grelha de terra.

Quadro 4.1 – Painel de afixação de informação.

Fig. 4.10 – Imagem da coluna de afixação.

COLUNA DE AFIXAÇÃO DE INFORMAÇÃO E/OU CENTRAL DE SERVIÇOS	A coluna de afixação de informação e/ou central de serviços permite a sua utilização para divulgação publicitária, através das quatro faces de afixação disponíveis ou, se oportuno, a integração equipamentos como multibanco, bilheteira, etc. O acesso ao seu interior é realizado por uma porta lateral. A iluminação prevista converte este elemento em pontos de referência que contribuem para a magia nocturna da cidade.

COMPONENTES:	- principais: 1 módulo – objecto (M/F) - secundários: 2x (c5) 6x (c11) 6x (c14) 2x (c20) 6x (c22) 4x (c23) 1x (c30)
DIMENSÕES EXTERIORES	1200mm x 1200 x 2400 (comp. x larg. x alt.)
FUNDAÇÃO	Fundação em maciço de betão executado no local, incluindo abertura para ligação eléctrica e grelha de terra.

Quadro 4.2 – Coluna de afixação de informação e/ou central de serviços.

Fig. 4.11 – Imagem da cabina telefónica.

CABINA TELEFÓNICA [Ver desenho 5 no anexo II].	A cabina telefónica, ao contrário do actual conceito de equipamento semi-aberto, é entendida como um volume 'estanque', capaz de proporcionar o alheamento às condições de ruído exteriores. A barra técnica que permite a montagem do aparelho. É possível a aplicação de outros componentes secundários que facilitem a sua utilização, por exemplo, o suporte para a lista telefónica. O acesso faz-se por uma porta lateral, com abertura para o exterior.

COMPONENTES:	- principais: 1 módulo – objecto (M/F) - secundários: 2x (c1) 1x (c2) 1x (c3) 4x (c11) 1x (c12) 1x (c13) 16x (c21) 2x (c23) 2x (c28)
DIMENSÕES EXTERIORES	1200mm x 1200 x 2400 (comp. x larg. x alt.)
FUNDAÇÃO	Fundação em maciço de betão executado no local, incluindo abertura para ligação eléctrica, grelha de terra e linha telefónica.

Quadro 4.3 – Cabina telefónica.

Fig. 4.12 – Imagem de uma solução composta de cabina telefónica com painel de publicidade.

CABINA TELEFÓNICA E PAINEL DE AFIXAÇÃO DE INFORMAÇÃO	A acoplagem de uma cabina telefónica a um painel de afixação de informação constitui um exemplo de associação de funções que pode ser alargado a todo o sistema de mobiliário urbano.

COMPONENTES:	- principais: 1 módulo – objecto (M/F) - secundários: 1x (c1) 1x (c4) 1x (c5) 1x (c6) 7x (c11) 1x (c12) 1x (c13) 12x (c21) 10x (c22) 2x (c23) 1x (c29)
DIMENSÕES EXTERIORES	2400mm x 1200 x 2400 (comp. x larg. x alt.)
FUNDAÇÃO	Fundação em maciço de betão executado no local, incluindo abertura para ligação eléctrica, grelha de terra e linha telefónica.

Quadro 4.4 – Cabina telefónica e painel de afixação de informação.

Fig. 4.13 – Imagem do abrigo urbano.

ABRIGO URBANO (I) [Ver desenho 3 no anexo II].	A concepção do abrigo urbano tem como ponto de partida a associação de três módulos prefabricados, aos quais podem ser acoplados módulos com outras funções.

COMPONENTES:	- principais: 3 módulos – objecto (M/F) - secundários: 2x (c1) 4x (c11) 3x (c13) 1x (c19) 12x (c21) 46x (c22) 2x (c24) 1x (c25) 1x (c27) 12x (c28) 2x (c29)
DIMENSÕES EXTERIORES	3600mm x 1200 x 2400 (comp. x larg. x alt.)
FUNDAÇÃO	Fundação em maciço de betão executado no local, incluindo abertura para ligação eléctrica e grelha de terra.

Quadro 4.5 – Abrigo urbano.

Fig. 4.14 – Imagem de uma solução composta do abrigo urbano com o painel publicitário.

ABRIGO URBANO (II) – com painel publicitário lateral

COMPONENTES:	- principais: 4 módulos – objecto (M/F) - secundários: 1x (c1) 1x (c4) 1x (c5) 7x (c11) 3x (c13) 3x (c14) 1x (c19) 1x (c20) 6x (c21) 64x (c22) 2x (c24) 1x (c25) 1x (c27) 21x (c28) 3x (c29)
DIMENSÕES EXTERIORES	4800mm x 1200 x 2400 (comp. x larg. x alt.)
FUNDAÇÃO	Fundação em maciço de betão executado no local, incluindo abertura para ligação eléctrica e grelha de terra.

Quadro 4.6 – Abrigo urbano com painel publicitário lateral.

Fig. 4.15 – Imagem de uma solução composta do abrigo urbano com cabina telefónica.

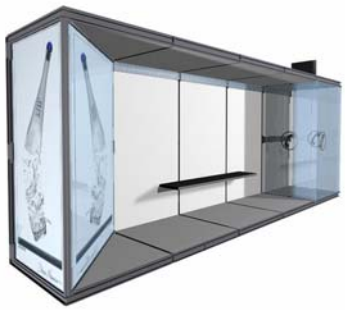


Fig. 4.16 – Imagem de uma solução composta do abrigo urbano com cabina telefónica e painel informativo.

ABRIGO URBANO (III) – com cabina telefónica incorporada	
COMPONENTES:	- principais: 4 módulos – objecto (M/F) - secundários: 3x (c1) 1x (c2) 1x (c3) 7x (c11) 1x (c12) 4x (c13) 1x (c19) 22x (c21) 56x (c22) 2x (c23) 2x (c24) 1x (c25) 1x (c27) 14x (c28) 3x (c29)
DIMENSÕES EXTERIORES	6000mm x 1200 x 2400 (comp. x larg. x alt.)
FUNDAÇÃO	Fundação em maciço de betão executado no local, incluindo abertura para ligação eléctrica e grelha de terra.

Quadro 4.7 – Abrigo urbano com cabina telefónica.

QUIOSQUE [Ver desenho 6 no anexo II].	O quiosque proposto destina-se à venda de jornais e revistas. Na solução apresentada o espaço é gerado, também, pela apropriação da área entre os dois módulos prefabricados. Assim, um dos módulos corre sobre uma calha com rodízios, ampliando o espaço e permitindo a entrada no quiosque. A opção de trabalhar com os espaços 'vazios' entre os módulos prefabricados, recorrendo a componentes secundários, constitui uma outra hipótese a ser explorada no desenho deste sistema.

Fig. 4.17 – Imagem do quiosque.

COMPONENTES:	- principais: 2 módulos – objecto (M/F) - secundários: 1x (c7) 1x (c8) 1x (c9) 1x (c10) 4x (c11) 1x (c13) 1x (c15) 6x (c16) 2x (c17) 1x (c18) 1x (c20) 28x (c22) ; 4x (c23); 1x (c26) ; 8x (c28)
DIMENSÕES EXTERIORES	2400/3600mm x 1200 x 2400 (comp. x larg. x alt.)
FUNDAÇÃO	Fundação em maciço de betão executado no local, incluindo abertura para ligação eléctrica e grelha de terra.

Quadro 4.8 – Quiosque.

4.4. Acabamentos das superfícies

À correlação entre o sistema estrutural e o esquema funcional acresce-se um terceiro elemento: a imagem externa dos equipamentos, que se pretende que reflicta a especificidade própria de cada ambiente urbano. Nesse sentido, recorre-se à integração de imagens de *ex-libris* das cidades na superfície de alguns dos módulos prefabricados em betão.
Assim, os elementos prefabricados são em betão branco e, a sua face exterior é reservada à inclusão da imagem pretendida, através do processo de transferir imagens na base da pintura plana. Das várias formas de acabamentos de superfícies em betão apresentadas, as técnicas da cor e da transferência de imagens, com superfícies lisas são as que melhor se adequam, porque, à partida, têm maiores potencialidades em termos de dar ao betão um carácter literalmente ligado a uma imagem, o que as outras técnicas não permitem de forma tão imediata e fácil.
Quanto aos componentes metálicos são pintados a tinta de esmalte do tipo Forja, em cinzento claro. A tonalidade será afinada com recurso a estudos sobre protótipos.

O betão a utilizar na execução dos módulos prefabricados, pode assumir vários tipos de composição, desde que ofereça a resistência mecânica necessária ao seu bom desempenho e satisfaça os requisitos de qualidade de acabamento da superfície, definidos em projecto.
Dos diferentes tipos de betão referenciados ao longo do trabalho, o que se considera ser mais adequado, quer pelas exigências ao nível formal e de acabamento e, sobretudo pelas vantagens apresentadas no processo de fabrico dos componentes, é o betão auto-compactável. Este material assegura bons resultados na obtenção do acabamento pretendido e adequa-se às reduzidas espessuras definidas, conforme já referenciado no capítulo das tecnologias de acabamentos.

As dosagens da composição do betão, variáveis de fabricante para fabricante, são resultado de constante experimentação laboratorial que lhes concede esse saber específico próprio.

Para as peças de mobiliário urbano definidas propõe-se a composição descrita no quadro do ponto 3.1.4, cujas dosagens irão posteriormente ser validadas com a execução do protótipo.

4.5 Instruções de fabrico, transporte e montagem

O sistema de mobiliário urbano proposto tem como principal objectivo a simplificação de todo o processo produtivo de forma a permitir o fácil fabrico, transporte, montagem e desmontagem, levando a uma maior rentabilidade do sistema.

4.5.1 Fabrico

O processo de fabrico está simulado no capítulo 5 com a tentativa de construção de um protótipo, pelo que só se consideram a seguir as fases após a desmoldagem.

a) Descofragem e protecção das superfícies. Após a descofragem dos moldes deverá proceder-se a uma análise da conformidade da qualidade do produto obtido e eliminar as peças com defeito. Deverá ser aplicado um hidrófugo de superfície incolor, à trincha ou por pulverização, à base de silicones modificados: silanos ou siloxanos para selar os poros do betão e o proteger contra as agressões externas, principalmente as superfícies impressas. Dado o programa apresentar elevadas solicitações de exposição a vandalismo é conveniente a aplicação de uma protecção *antigrafitti*.
b) O armazenamento deverá ser em local abrigado e as peças deverão repousar em posição estável sobre paletes.

4.5.2 Transporte

Solucionar o problema de transporte e a manipulação do braço da grua foi uma preocupação ao longo do desenvolvimento deste trabalho, daí o estudo da fragmentação dos grandes elementos em módulos, como por exemplo o quiosque ou a paragem de autocarro.
O material escolhido para a realização dos módulos estruturais

– o betão auto-compactável – pesa cerca de 2400 Kg/m^3, variável consoante a sua composição.
Cada peça modular tem um volume de 0,28 m^3, o que corresponde a um peso de cerca de 672 Kg.
Se considerarmos hipoteticamente que o transporte, desde a oficina de fabrico até ao local da obra, é feito por um camião com a capacidade de carga de 22 000 Kg, conseguimos transportar 32 módulos em cada carga.
O acondicionamento das peças também é simplificado pela sua forma em C, que permite o encastelamento em conjuntos de peças.

4.5.3 Montagem

a) Plataforma de assentamento. Faz parte do sistema a construção *in situ* de uma base feita em betão armado que deverá adaptar-se à condições geológicas do terreno, à sua topografia e à geometria planimétrica do objecto. Esta estrutura poderá ter ou não uma cofragem modelo, que incorporará no seu bordo superior um aro em cantoneira de aço *inox* AISI 316 que ficará chumbada ao betão, garantindo o nivelamento e a planeza da base.
b) Fixação dos módulos. Proceder-se-á à descarga dos módulos para a plataforma atrás referida, posicionando-os imediatamente nos respectivos locais. Esta operação será feita através de grua cujo braço levantará os módulos através dos ganchos neles encastrados. Após a operação concluída, as peças serão ajustadas manualmente procedendo-se ao seu encaixe, após colocação na reentrância da junta de banda de neoprene. A seguir, os módulos serão aparafusados entre si e à base.
c) Acabamentos de cobertura e pavimento. Estas faces do módulo, que poderão apresentar alguma irregularidade provocada pelo processo de betonagem, serão revestidas a pintura *epoxy* tipo *Sikagard* e tipo *Sikafloor*, respectivamente. Este tipo de revestimentos funcionará na cobertura, como impermeabilizante e acabamento e, no pavimento como acabamento abrasivo e protector

ao desgaste.

d) Acessórios. Dependendo das diversas funções que os módulos poderão cumprir serão considerados vários componentes acessórios que serão fixados à bordadura das peças de betão. Estes elementos serão colocados na fase final da montagem.

4.6 Peças desenhadas

[Ver anexo II].

Elaboraram-se, para este trabalho, nove peças desenhadas que definem o sistema projectado e que são as seguintes:

01 - Módulo -base
02 - Pormenorização
03 – Abrigo urbano
04 – Painel informativo e publicitário
05 – Cabina telefónica
06 – Quiosque
07 – Componentes secundários I
08 – Componentes secundários II
09 – Esquema estrutural do módulo-base

CAPÍTULO 5 | Avaliação e implementação do sistema

5.1 Avaliação do desempenho

Apresenta-se neste sub-capítulo uma avaliação qualitativa simplificada do desempenho do sistema proposto. Esta avaliação deverá ser validada através da realização de ensaios sobre protótipos do sistema.

5.1.1 Exigências de estabilidade e comportamento mecânico

A estabilidade das diversas soluções concebidas é assegurada pelo peso próprio das estruturas compostas complementada por uma adequada fixação a uma fundação contínua em betão armado, a dimensionar caso a caso e em função das características geotécnicas e topográficas dos locais de implantação.
O funcionamento do conjunto é assegurado pelas ligações entre módulos realizadas de acordo com os pormenores tipo. [Ver desenho 2 no anexo II].
O desempenho estrutural do conjunto deverá ser validado por técnico credenciado que analisará em pormenor as condições particulares de implantação.

5.1.2 Exigências contra risco de incêndio

Esta exigência não é muito pertinente já que a segurança de pessoas não é posta em causa atendendo à reduzida dimensão das soluções projectadas o que permite a fuga de pessoas com grande facilidade. Para além disso os principais elementos constituintes do sistema (betão armado, perfis de aço macio e vidro) são incombustíveis. Deverão ser garantidos cuidados especiais com a toxicidade e não combustibilidade das *mastiques* usados nas juntas entre os módulos.

5.1.3 Exigências de segurança na utilização

A pormenorização do sistema prevê a utilização de materiais de junta que asseguram a não existência de arestas vivas cortantes e descontinuidades potencialmente causadora de lesões nos utentes. Os vidros a utilizar serão laminados temperados de modo a limitar as eventuais lesões causadas sobre os utentes no caso do seu estilhaçamento.
Defende-se a implantação das soluções em locais sombreados e ventilados de modo a limitar o risco de eventuais queimaduras por contacto com superfícies metálicas muito aquecidas por efeito do sol. Este risco de queimadura é no entanto muito reduzido.
Deve prever-se a ligação à terra das infraestruturas eléctricas de modo a reduzir ou eliminar os riscos de choque eléctrico.
A rugosidade das superfícies de betão não é potencialmente causadora de lesões nos utentes.

5.1.4 Exigências de segurança contra intrusão

Esta questão põe-se essencialmente ao nível do quiosque. Para esta peça de mobiliário urbano o cumprimento das exigências pressupõe a colocação de elementos complementares mais resistentes que aumentem a resistência ao arrombamento.

5.1.5 Exigências de conforto térmico e poupança de energia

No caso das utilizações com maiores índices de permanência de pessoas em espaços parcialmente confinados (quiosque, cabina telefónica simples) justifica-se a consideração de meios adicionais de sombreamento garantidos por exemplo por meio de espécies arbóreas de porte adequado ou uma localização abrigada e sombreada.
O conforto térmico padrão da solução tanto de Verão como de Inverno é relativamente reduzido devido ao baixo potencial de isolamento do betão armado. É no entanto perfeitamente compatível com a qualidade habitual das soluções correntes de mobiliário urbano.

5.1.6 Exigências de conforto acústico

A relativamente elevada massa da solução assegura uma protecção acústica adequada para as fontes sonoras localizadas atrás dos elementos projectados.
Na implantação das soluções poderá tirar-se partido desta propriedade de modo a garantir um nível de desempenho superior às soluções leves correntes de mobiliário urbano (como por exemplo na cabina telefónica, virando a frente da cabina para ambientes com níveis sonoros emissores mais baixos.

5.1.7 Outras exigências de conforto

5.1.7.1 Estanquidade ao ar
Esta exigência não é aplicável.

5.1.7.2 Pureza do ar
O sistema não contribui para a degradação localizada da pureza do ar envolvente.

5.1.7.3 Conforto visual
Exige-se que todas as superfícies apresentem planeza e verticalidade elevadas que assegurem um adequado conforto visual. As imagens impressas ou fotogravadas e a transparência do vidro asseguram um elevado padrão de conforto visual das soluções.

5.1.7.4 Conforto táctil
Assegurado pela baixa rugosidade exigida ao acabamento superficial do betão. Os restantes materiais utilizados asseguram por si só um muito elevado nível de conforto táctil.

5.1.7.5 Higiene
As diversas soluções do sistema asseguram um adequado nível de desempenho em termos de higiene e salubridade garantido pela lisura do acabamento.
Deverá no entanto ser garantida uma adequada limpeza corrente que elimine a sujidade e poeiras aderentes às superfícies expostas ao tempo.

As superfícies de betão fotogravado ou impressas têm uma elevada capacidade de auto-limpeza por efeito da água das chuvas ou de águas de lavagem.

5.1.7.6 Adaptação à utilização normal

O sistema prevê a aplicação fácil de infraestruturas eléctricas, de telecomunicações e de iluminação.
A fixação de objectos pesados nas paredes está também facilitada pela solidez da solução de paredes, tectos e base e também pelo sistema de perfilados de bordadura dos módulos que permite a fixação dos equipamentos necessários.

5.1.8 Facilidade de limpeza e manutenção

O sistema é vulnerável a acções de vandalismo por aplicações de *grafitti*.
Deverão prever-se sistemas de protecção de superfície que permitam a mais fácil eliminação de *grafitti*.
Desde que sejam assegurados trabalhos de manutenção e limpeza correntes, o sistema apresentará um aspecto satisfatório durante um período de vida relativamente longo – cerca de 30 anos.
A manutenção das superfícies expostas de betão deve ser assegurada por acções de pintura e/ou envernizamento com periodicidade regular – cerca de 10 anos entre intervenções.

5.1.9 Durabilidade

As armaduras deverão ter um recobrimento maior ou igual a 30mm para assegurar uma baixa velocidade de corrosão. O betão superficial deve ter uma compacidade elevada e uma baixa porosidade que assegure muito baixas velocidades de carbonatação superficial.

5.1.10 Facilidade de transporte e de montagem e desmontagem

O sistema é muito fácil de transportar e de montar.
É totalmente desmontável podendo ser reutilizado com baixa perda de materiais originais (essencialmente devem ser feitos de novo as fundações e a aplicação dos materiais de junta).

5.2 Avaliação do sistema do ponto de vista dos objectivos propostos

A proposta apresentada – sistema integrado de mobiliário urbano – insere-se num campo dominado pelos apelidados materiais *leves* e *transparentes*. Estes materiais (tais como o vidro, os acrílicos e os perfis metálicos) constituem a gama de produtos geralmente utilizados na construção deste tipo de equipamentos urbanos.

As razões desta tradicional preferência são diversas:

a) São materiais leves e, por isso, de fácil transporte e montagem;
b) São materiais que podem facilmente contribuir para um desenho onde predomine uma certa transparência de formas;
c) São materiais que podem formar um conjunto de componentes e acessórios com combinações diversas e heterogéneas;
d) Os componentes formados a partir destes materiais são produzidas em série através de processos industriais já enraizados nos vários sectores da produção (exemplos: metalurgia, pintura industrial, indústria vidreira, etc.).
e) Por fim, são materiais conotados com uma ideia de construção moderna assente na transparência e na esbelteza das peças que a resistência mecânica desses materiais permite.

Assim, introduzir soluções que dependam de materiais de natureza diferente dos acima descritos constitui um desafio ao

desenho projectual de mobiliário urbano.

A escolha deste tipo de usos, para aplicar as novas tecnologias de produção do betão armado pré-moldado, tem o propósito de testar usos tradicionalmente exteriores ao campo de aplicação do betão. O desafio é ainda maior quando se reconhece este material como historicamente ligado a formas arquitectónicas brutalistas e expressionistas.

Contudo, a aposta parte de uma plataforma projectual que nos garante, por si só, algumas vantagens sobre os sistemas correntes implantados:

a) O betão caracteriza-se por níveis de manutenção inferiores;
b) O betão prefabricado, modulado, parte de uma linha de produção simplificada quando comparada com a diversidade de *artes* que convergem nos actuais sistemas de mobiliário;
c) A montagem de um sistema modulado que recorre a peças monolíticas é substancialmente mais rápido que um que depende de peças compostas;
d) A produção de um sistema modulado em betão prefabricado pode ser efectuada com tecnologia corrente usada já no sector;
e) O recurso a meios de produção que cruzam ainda o artesanal com o industrial possibilitam uma construção que, embora fortemente automatizada, pode ainda apresentar diferenciações que transformam o produto num objecto único.

Portanto, a linha de investigação tomada pelo projecto parte da hipótese que, para além das suas características produtivas e técnicas adequadas ao uso, o betão, explorado em todo o seu potencial tectónico, constitui-se como um material competitivo e indutor de novas leituras, dentro do actual panorama de soluções arquitectónicas de mobiliário urbano.
A seguir analisar-se-á em pormenor o significado de leve, do transparente, do comunicativo, e o modo como as actuais técnicas de tratamento do betão podem responder a esta

tendência do mundo contemporâneo da arquitectura e do design industrial[1].

[1] Esta tendência é reconhecida e estudada por alguns críticos da especialidade sendo o caso mais notório a popularidade do denominado fenómeno *High-Tech*. Pode se referir a título de exemplo a obra de Ezio Manzini «*A matéria da invenção*».

A primeira questão a abordar é de ordem cultural. A matéria (e as formas em que se organiza) tem-se distanciado do utilizador comum, ou seja, a familiaridade que as pessoas tinham com os materiais que formavam a diversidade dos artefactos necessários à vida, está hoje imiscuída de processos que tendem a introduzir materiais complexos e compostos incompreensíveis fora da esfera do saber tecnológico. Neste quadro, a verdade da matéria deixa de ser reconhecível por quem a vive.

Outro factor importante desta manipulação científica que tende a subalternizar os materiais naturais é o desenvolvimento de tecnologias e produtos descontextualizados do espaço onde estão inseridos. Para ilustrar esta situação pode-se referir, dentro do mobiliário urbano, certas soluções promovidas por empresas multinacionais, comercializadas nas mais diversas cidades europeias, independentemente da diversidade do clima, das formas de gestão do espaço público, da inserção urbana, etc.
A antiga situação, em que um material disponível em determinada área geográfica garantia por si só uma imagem urbana equilibrada e fazia depender as solicitações construtivas de um tecido produtivo local, está muito distante dos mecanismos contemporâneos de produção e da lógica de gestão do espaço urbano.

Sem querer reeditar a natureza desses processos, o sistema modular proposto possibilita a reposição simbólica de alguns valores que a produção artesanal pressupunha. Os módulos de betão estampados com imagens da cidade onde os equipamentos seriam instalados remetem, ainda que superficialmente, para valores locais comunitariamente reconhecíveis. Este dispositivo iconográfico serviria para dar coesão entre os vários equipamentos que integrariam o sistema modular, mas, sobretudo, permitia a pontuação do espaço público urbano por sinais alusivos à própria cidade a qual funcionaria como contexto físico mas também representativo.

O processo de produção das peças pode ser pensado de dois modos: ou existe um fabrico local contratado directamente pelas entidades camarárias, ou o fabrico seria tomado por uma empresa produtora que o proporia às Câmaras Municipais.
Dada a simplificação dos meios técnicos exigidos, a produção das peças pode ser garantida por empresas locais o que torna viável a primeira possibilidade. Ainda que em pequena escala, esta previsão vai de encontro a um retomar da indústria local na *construção da cidade*.

O segundo problema é de ordem técnica e remete para as novas tecnologias de tratamento do betão a possibilidade das formas construídas em betão se aproximarem do leve e do transparente. Aqui, interessa colocar dois problemas: o relativo à aparência superficial do betão e à manipulação da sua forma; e o relativo à resistência física e mecânica da peça. Para simplificar, referenciaremos o primeiro à *qualidade estética* e o segundo à *qualidade estrutural*.

A *estética* do betão, por evolução tecnológica do material, inclui uma gama de possibilidades que vai desde a tradicional *parede bruta* aos painéis moldados em betão polímero.
Das diversas técnicas oferecidas pela indústria do sector recorreu-se ao betão auto-compactável que permite índices de retracção menores e superfícies lisas sem necessidade de vibração. Outra característica deste tipo de betão é a sua fluidez e resistência mecânica que possibilita a obtenção de formas complexas e pouco espessas. Assim foi possível projectar uma peça em forma de 'C', com 10cm de espessura e apresentando uma aba com 110cm em consola. Em futuros desenvolvimentos da solução poder-se-ia recorrer ao *betão transparente* agora possível graças à inclusão de fibra óptica na sua composição. Apesar dos custos elevados desta técnica, a sua aplicação criteriosa (limitada a algumas peças do sistema) poderá torná-la viável.
Outro recurso utilizado é o relativo à inserção da cor e controlo do brilho do betão. O critério da cor e da luminosidade é de extrema importância num material tipicamente relacionado com o tom monotonamente cinzento. No caso da proposta estudada propõe-se um betão branco que expressará todo o

seu poder plástico através da oposição com a estrutura metálica da *cofragem perdida* e com todos os restantes acessórios de vidro laminado ou de aço *inox*.

Assim, numa aproximação ao leve e transparente, o betão, tratado nos seus aspectos volumétricos e superficiais, apresenta capacidades estéticas possíveis de serem exploradas conjuntamente com outros materiais. Na proposta acopla-se à estrutura principal de betão uma série de componentes que tendem a dissipar o monolitismo da peça pré-moldada no sistema global. Referimo-nos concretamente ao fecho dos espaços através de placas de vidro laminado (exemplo: a cabina telefónica), placas de contraplacado fenólico (exemplo: quiosque) ou à sua conjugação parcial (exemplo: paragem de autocarros completada com *outdoor*).

As técnicas de tratamento das superfícies de betão são diversas e quase infinitas. Para este trabalho explorou-se uma tecnologia recente que permite a representação de imagens nas superfícies dos betões. O efeito gráfico desta técnica permite encarar o betão como material construtivo com potencialidades expressivas para além das tradicionalmente conhecidas.

O betão, como suporte de imagens duráveis, coloca-se a par de técnicas como a da azulejaria[2], com a vantagem de ser simultaneamente material estrutural. Portanto, a impressão de imagens em betão retoma uma tradição esvanecida que conjuga técnicas construtivas específicas com as áreas da comunicação gráfica, das artes plásticas e da fotografia. Esta reunião de artes na produção de um objecto arquitectónico é retomada no projecto do mobiliário urbano desenhado, conferindo-lhe também um papel de *obra de arte pública*.

[2] Apesar de algumas similitudes, nesta comparação com a técnica do azulejo devem ser consideradas as devidas distâncias.

5.3 Implementação do sistema

5.3.1 A elaboração de um protótipo

A validação do projecto passa pela construção e afinação do protótipo do módulo-base. Neste sentido, descrevem-se em seguida as fases principais da sua construção.
Conforme descrito no projecto, o módulo, em betão pré-moldado, é constituído por um aro metálico, que assegura parte das faces da cofragem e é colaborante na estrutura. A qualidade final da obra depende pois de duas operações fundamentais: a produção em serralharia da peça metálica e, depois, a fase de betonagem controlada em fabrica especializada em pré-fabricação de betão.
Apresenta-se, em seguida diversas notas de síntese necessárias para apoiar o fabrico de um protótipo destinado a validar o sistema e aperfeiçoar a sua concepção.

1. Elaboração do aro metálico.

A elaboração do aro metálico integra a construção da peça principal em perfil **TT** e dos demais acessórios tais como caixas de derivação, chumbadouros, etc. Todos os perfis e chapas utilizadas devem corresponder rigorosamente ao estabelecido em projecto salvo aqueles casos em que, por comum acordo, se encontrem soluções alternativas que melhorem significativamente tanto os aspectos produtivos como técnicos do módulo.

a) Corte e soldadura.

O aro é constituído por três barras chatas soldadas que constituirão o perfil de bordadura. Este perfil deverá ser produzido autonomamente por soldadura contínua devendo ser garantido o não encurvamento da peça. Após a elaboração deste perfil, seguir-se-á a fase de corte e soldadura dos vários componentes do aro. Nesta fase deverão ser incluídos os trabalhos de perfuração e recorte estabelecidos. Aconselha-se, para garantir a esquadria tridimensional da peça, a construção de uma mesa de trabalho para apoio à produção.

Depois de efectuada a soldadura principal deverão ser fixadas as barras de travamento bem como as caixas de derivação e os pernos do chumbadouro.

b) Pintura.

Todo o conjunto deverá ser protegido contra a corrosão através de processo de galvanização de 80 *microns*. Finalmente, a estrutura metálica deverá ser acabada com uma pintura de esmalte do tipo *Forja*. O seu acabamento deverá ser dado à pistola, em estufa, e inclui a infusão dos primários prescritos pelo fornecedor da tinta.

2. Pré-fabricação da peça de betão.

A betonagem do módulo integra, quer a obra de serralharia atrás descrita quer a imagem previamente seleccionada e impressa no suporte escolhido. Estas duas componentes da produção deverão chegar em bom estado às instalações fabris e deverão ser aí manuseadas com o cuidado necessário à sua preservação. Da permanência da sua qualidade dependerá substancialmente o êxito do protótipo.

a) Cofragem e armaduras.

A cofragem é constituída pelo aro metálico e por painéis em contraplacado marítimo. O negativo da peça que a cofragem deve garantir será orientado na vertical (na mesma posição da peça no mobiliário) para se efectuar a betonagem pela cobertura do módulo. Assim, teremos uma geometria em 'C' na parte interior da cofragem (que conformará o tecto, a parede e o chão) e um taipal vertical simples onde será colada a imagem a transpor para o betão (que constituirá a face externa da parede do módulo). A base poderá ser, simplesmente, uma plataforma desde que cumpra com as exigências de impermeabilização e regularidade superficial necessárias.
Estas várias componentes da cofragem deverão ser devidamente amarradas, travadas e escoradas através de uma estrutura metálica auxiliar. Todas as juntas deverão ser seladas e todos os orifícios do aro metálico deverão ser vedados com

material facilmente destacável.
Antes de fechar a cofragem deve ser colocada e estabilizada a armadura no molde, assim como amarrada a esta a ferragem – tipo *Pfeifer* – do sistema de elevação e transporte do módulo. Devem ser igualmente inseridos os seguintes elementos: tubagem plástica de alimentação eléctrica e a armadura estrutural. Durante a betonagem deverá ser assegurado o posicionamento destes elementos.

b) Betonagem.

Após limpeza das superfícies do molde e confirmação da estabilidade da cofragem proceder-se-á à betonagem da peça.
Os betões a aplicar deverão ser monitorizados de modo a que se proceda a uma correcta análise das especificações das composições pretendidas.
O betão a utilizar será auto-compactável branco e terá a composição de referência definida no Quadro Sinóptico 3.7 (capítulo 3.1.4 do presente trabalho) como do tipo (b5).
O processo de vazamento do composto para o molde deverá ser acompanhado dos cuidados necessários, entre os quais se destaca especialmente o manuseamento do caudal de modo a não ferir, por deslize agressivo, a impressão colada na parede da cofragem. O fecho da betonagem dá-se na cobertura ficando o seu nível 1cm abaixo do nível do aro, formando assim um rebordo.

c) Desmoldagem.

Passadas 24 horas sobre a betonagem é imperioso proceder-se à descofragem da peça, na zona exterior da parede onde estava inserida a imagem. Este intervalo de tempo refere-se ao processo de absorção da imagem pelo betão, o qual deixa de fazer o efeito pretendido passado esse período. Depois da cofragem retirada deve-se desprender da face do betão a película que suportava a imagem entretanto transferida.
A restante cofragem (formando o 'C' interior) deverá ser retirada aquando da cura do betão o que depende exclusivamente da aquisição das propriedades mecânicas

suficientes para garantir a estabilidade da peça.

d) Limpeza.

Para finalizar o processo deverá ser realizada uma limpeza geral da peça que cuidará em particular da remoção de rebarbas ou derrames, ocorridos durante a betonagem. A face da peça onde está estampada a imagem será, por fim, protegida através da pulverização de líquido *anti-grafitti*.

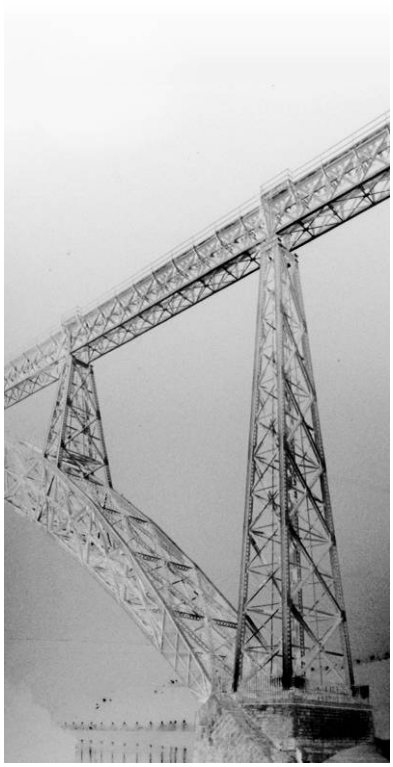


Fig. 5.1 – Primeira fotografia testada: Imagem A.

5.3.2 Elaboração de amostras dos acabamentos

1. Objectivos.

As experiências laboratoriais realizadas tiveram como objectivo verificar o comportamento e a efectividade da transferência de uma imagem impressa para a superfície de betões. Para o efeito, foram testadas diferentes impressões em condições técnicas idênticas, tais como a composição do betão, a geometria e o material de acabamento da cofragem. As experiências foram realizadas nas instalações da empresa de cimentos *SECIL*.

2. A escolha da imagem e do suporte de impressão.

Fig. 5.2 – Segunda fotografia testada: Imagem B.

Portanto, nas experiências efectuadas, as variáveis introduzidas no processo limitaram-se tanto à imagem escolhida como aos seus suportes.
Na transferência de imagens na base da pintura plana, a etapa referente à escolha da imagem e do modo de impressão é crucial à qualidade final do trabalho.

Quanto às propriedades gráficas da imagem, devem ser tomados alguns cuidados prévios.
No caso particular do projecto apresentado, a imagem escolhida deveria ter como tema um *ex-libris* da cidade onde o módulo prefabricado, integrado nas peças de mobiliário urbano pré-definidas, ficaria implantado. A escolha do motivo figurativo recaiu sobre o desenho da estrutura da Ponte D.

Figs. 5.3 – Colocação e colagem das três primeiras imagens na cofragem.

Figs. 5.4 – Colocação e vibração do betão branco.

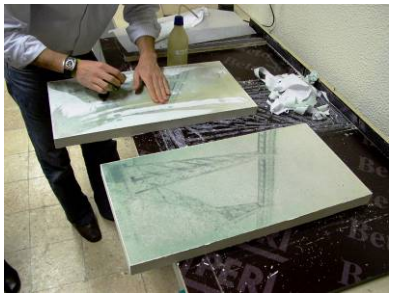


Fig. 5.5 – Desmoldagem e limpeza das peças.

Maria, no Porto.
O critério gráfico que presidiu à escolha da fotografia e ao seu posterior tratamento digital foi fixado a partir do pressuposto que, uma imagem monocromática, de tons contrastantes e de formas bem delineadas, mesmo que perdesse alguma leitura depois de *absorvida* pelo betão, pudesse ter ainda um impacto visual suficiente para ser decorativa e, ao mesmo tempo, conotada com o monumento representado.
Outro critério que deveria presidir à escolha da imagem prende-se com a sua escala. Sendo a reprodução efectuada para um painel de grandes dimensões (1,20X2,40m) a informação veiculada pela fotografia não deveria ser vasta e, portanto, decidiu-se delimitar um pormenor sugestivo e sintético do monumento representado.

Tendo como base estes princípios foram experimentadas duas fotografias do mesmo pormenor do arco com um dos respectivos pilares principais da estrutura metálica da Ponte D. Maria. A principal diferença gráfica encontra-se no contraste de tons e no grau de leitura visual dos elementos metálicos de travamento. Classificaram-se as duas imagens em A e B, correspondendo a primeira à fotografia menos contrastada e apresentando menos detalhes.
Relativamente ao suporte de impressão, foram experimentados três tipos: papel fotográfico, papel normal de 80gr e película de poliéster. À partida, a intenção era verificar a correspondência entre a natureza da absorção da tinta no suporte e a qualidade pictórica da imagem depois de transferida e, também, detectar a influência do material de suporte (no caso, papel e poliéster) na qualidade superficial do betão.

3. Cofragem.

Como cofragem das seis amostras efectuadas utilizaram-se placas de contraplacado marítimo (tipo *PERI*), cortadas de forma a definir o negativo dos painéis, cuja dimensão foi 60X30X5cm. As juntas foram vedadas com silicone. Sobre o leito das caixas formadas foram colados, com cola vulgar de bastão, os suportes com as imagens previamente impressas.

Fig. 5.6 – Painel A1.

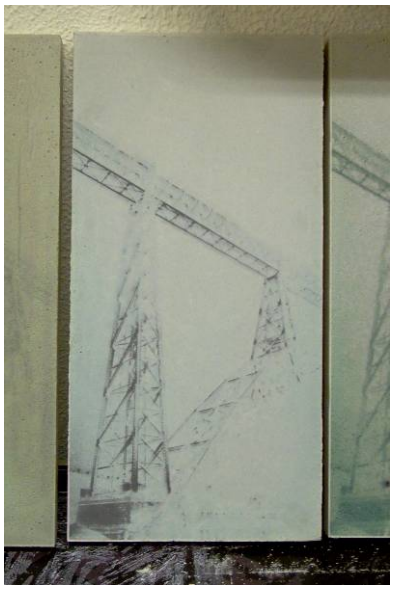


Fig. 5.7 – Painel A2.

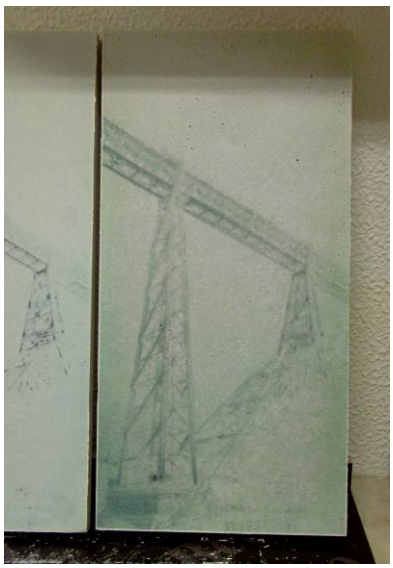


Fig. 5.8 – Painel A3.

4. Composição do betão.

O betão utilizado na experiência teve a seguinte composição:

MATERIAL	MASSA/m^3	MASSA AMASSADURA
Cimento Branco	557	11,14 kg
Meia Areia	890	17,80 kg
Areia Fina	443	8,86 kg
Adjuvante Plastificante	-	111,40 gr
Água	200	4,00 l

O único critério de escolha desta composição teve como base a experiência do laboratório da *SECIL*, onde haviam sido já tentados, com algum sucesso, ensaios do género, os quais haviam permitido afinar a composição indicada no quadro.

5. Análise dos resultados.

Depois de um dia de cura os painéis foram desmoldados, tendo-se obtido os seguintes resultados:

Imagem A

a) Suporte em papel normal de 80 gr: Painel A1.

O painel moldado sobre a imagem em papel normal foi o que apresentou menor qualidade, tanto nos aspectos de acabamento superficial como no que respeita à transposição da imagem original.
A textura irregular da superfície, constituída pelo aparecimento de pregas devido à instabilidade do papel pela presença da água, incutiu na imagem deformações que produziram uma absorção da cor inconstante e difusa. A agravar o processo, a transferência da imagem, deficiente, produziu uma imagem final pouco adequada aos fins do trabalho.

b) Suporte em película de poliéster: Painel A2.

A superfície apresentou-se vidrada e com textura lisa, sem

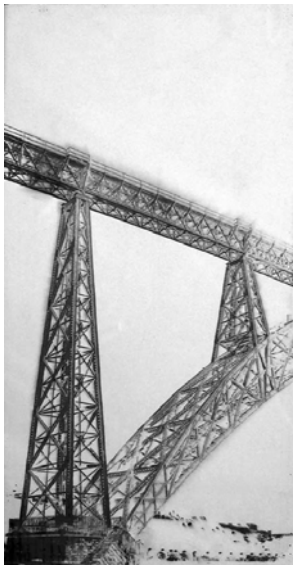


Fig. 5.9 – Painel B1.

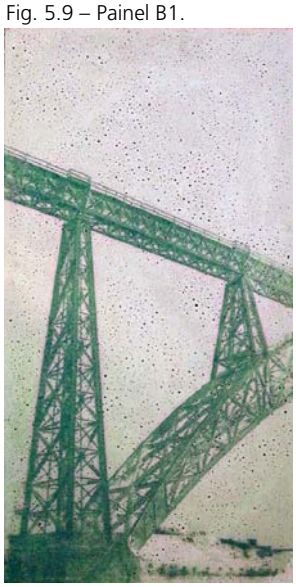


Fig. 5.10 – Painel B2.

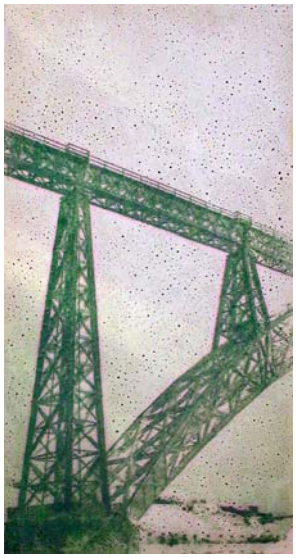


Fig. 5.11 – Painel B3.

imperfeições. A imagem transposta foi preservada em 80%, apresentando exclusivamente os tons mais escuros, o que lhe dá as características de desenho linear, semelhante à própria solução estrutural da ponte.

c) Suporte em papel fotográfico: Painel A3.

A superfície do betão apresentou uma textura uniforme sendo facilmente detectável a existência de pequenas bolhas de ar.
Quanto à qualidade da imagem transferida, a leitura das linhas principais do desenho da ponte, embora esbatidas, permite ainda identificá-las com o objecto fotografado. A imagem conseguida apresenta parecenças com os daguerreótipos de finais do séc.XIX.

Imagem B

d) Suporte em película de poliéster: Painel B1.

A superfície do betão apresentou-se com uma qualidade de textura idêntica à da Imagem A. Sobre a qualidade da imagem transferida, a leitura das formas lineares da ponte era perfeita, quase comparável ao suporte original da fotografia. A coloração das manchas e linhas transferidas apresentava uma gama de preto e cinzentos.

e) Suporte em papel fotográfico (I): Painel B2.

A superfície do betão apresentou-se com uma qualidade de textura idêntica ao Painel A3. No entanto, a imagem transferida apresentava uma coloração mais esverdeada (sintoma de uma maior quantidade de tinta no suporte) e as manchas definidoras da imagem estavam mais diluídas mas deixavam ainda passar um conjunto de contornos bem identificáveis com a *filigrana* da estrutura da ponte.

f) Suporte em papel fotográfico (II): Painel B3.

Uma vez que o teste sobre papel normal de 80gr (Painel A1)

não garantia os padrões de qualidade esperados, julgou-se ser mais útil repetir, nas mesmas condições materiais e laboratoriais, uma outra amostra em papel fotográfico. Esta escolha deveu-se ao facto de, com base nas experiências anteriores sobre a Imagem A, se pensar que este papel era o que assegurava melhor qualidade.

Quanto à nitidez da imagem, o resultado deste painel, divergia ligeiramente do seu gémeo B2, apesar de ser constituído em condições exactamente iguais. Empiricamente, pode concluir-se que a disposição interna do composto influencia, ainda que em pequena percentagem, a qualidade da imagem transferida.

Decorridos 60 dias sobre estas experiências, período de tempo em que os painéis-amostra estiveram propositadamente expostos a condições climáticas adversas, as características das seis imagens transferidas mantiveram-se inalteradas.

Neste contexto, considerando a aplicação de um hidrófugo de superfície incolor apropriado, o **Painel B1** cumpre os pressupostos mínimos de qualidade definidos para a imagem a ser impressa no módulo prefabricado previsto para o sistema de mobiliário urbano projectado.

CAPÍTULO 6 | Conclusões e desenvolvimentos futuros

6.1 Principais resultados obtidos

Tendo em conta o âmbito e os objectivos propostos neste trabalho, definidos no capítulo de introdução, foi possível atingir um significativo conjunto de resultados da investigação desenvolvida e de que se destacam os seguintes ao nível do estado da arte com base em pesquisa bibliográfica:

a) estado da arte sobre a utilização do Betão Arquitectónico em Portugal e, ainda que de forma simplificada na Europa, incluindo:

- síntese histórica desde a invenção do betão;
- avaliação da utilização do Betão Arquitectónico no contexto da História da Arquitectura Moderna;
- definição das principais preocupações dos arquitectos quando utilizam o betão como principal material de construção e sua contextualização com o trabalho desenvolvido por outros técnicos;
- avaliação dos impactos da pré-fabricação na utilização do Betão Arquitectónico.

b) Descrição das tecnologias de acabamento mais correntemente usadas no fabrico do Betão Arquitectónico, incluindo:

- a cor;
- a textura;
- a transferência de imagens: fotogravação na moldagem; fotogravação após a cura; transferência de imagem por pintura plana; transferência de imagens por configuração do molde.

c) A apresentação de uma síntese normativa e de materiais associados ao fabrico do Betão Arquitectónico;

d) A reflexão sobre o recurso à pré-fabricação como via fundamental para o aumento da utilização e o desenvolvimento do Betão Arquitectónico;

Ao nível da investigação e desenvolvimento com carácter inovador, destacam-se os seguintes principais resultados:

a) Desenvolvimento de um sistema prefabricado de mobiliário urbano incluindo concepção de: módulo-base; toda a pormenorização e ampla definição de componentes; estudo de algumas soluções tipo de aplicação concreta em mobiliário urbano;

b) Avaliação do sistema concebido incluindo a avaliação do desempenho do sistema ao nível funcional e da qualidade estética tendo em conta a utilização prevista;

c) Início da implementação do sistema concebido incluindo a definição de aspectos concretos associados ao fabrico de um eventual protótipo do sistema e a realização de experimentação concreta ao nível da imagem gráfica por transferência de imagens.

6.2 Desenvolvimentos futuros

A investigação desenvolvida permite indicar uma série de novas linhas de investigação e desenvolvimento científicos que poderão definir novas linhas de crescimento na utilização do Betão Arquitectónico que sejam do agrado da cultura contemporânea.
Nesse sentido é possível indicar diversas vias de estudo de carácter geral e de que se destacam:

a) a sistematização, o estudo e o acompanhamento de novas técnicas de transferência de imagens para a superfície do betão e também ao nível da cor e da textura;
b) pesquisa normativa exaustiva relacionada com o tema do Betão Arquitectónico incluindo materiais constituintes, pré-fabricação e aspectos relacionados como o acabamento das superfícies;
c) a definição de campanhas experimentais de carácter fundamental associadas a questões de composição e durabilidade de Betões Arquitectónicos.

Associadas ao sistema desenvolvido e tendo em conta a sua validação é possível indicar linhas de investigação tais como:

a) a construção de um protótipo do módulo e das soluções específicas projectadas (quiosque, cabina, paragem de autocarros, etc.);
b) novos ensaios em amostras de pequena dimensão associados à composição do betão e ao processo de transferência de imagens a utilizar no fabrico de um protótipo do sistema;
c) ensaios de durabilidade sobre essas mesmas amostras.

Ao nível de exploração empresarial do sistema desenvolvido pode ainda equacionar-se a procura de parceiros entre os grandes prefabricadores nacionais para, com o apoio da indústria cimentícia, iniciar o fabrico e a comercialização do sistema iniciando o processo com acções de *marketing* junto de Câmaras Municipais com estruturas políticas dirigentes vocacionadas para o apoio à investigação e desenvolvimento de ideias nacionais.

6.3 Conclusões

O tema abordado é, ao mesmo tempo, muito vasto e aliciante. Por esse motivo, definiu-se um âmbito de estudo relativamente reduzido, de modo a poder cumprir todos os objectivos propostos.

Como profissional que manuseia o betão como um dos principais materiais estruturais, este trabalho constituiu uma abertura a um sem número de possibilidades por ele oferecidas, nomeadamente ao nível de expressividade formal e de acabamento das suas superfícies.

É fácil demonstrar que com um desenho adequado é possível encontrar novos usos para o betão, que lhe devolvam a imagem original de leveza, versatilidade e modernidade.

As tecnologias de informação e as novas possibilidades que as mesmas poderão fomentar na modernização industrial e nos processos de fabrico do betão terão um papel decisivo no caminho a seguir.

Mais importante do que concluir é definir os possíveis campos de trabalho na investigação do potencial estético do betão.

ALLEN, Edward – *The Professional Handbook of Building Construction*. New York: John Wiley & Sons, 1985.

ARIEFF, Allison; BURKHART, Bryan – ***Prefab.*** Utah: Gibbs Smith Publisher, 2002.

BAKKER, Siebe (ed.) – *Concrete Design Book on Robustness*. Hertogenbosch: ENCI Media, 2005.

BENDER, Richard – *Una Visión de la Construcción Industrializada*. Barcelona: Gustavo Gili, 1976.

BOESIGER, W.; STONOROV, O. – *Le Corbusier et Pierre Jeanneret: oeuvre complète : Vol. 1 a 8*. Zurich: Les editions d'Architecture, 1991 (1964).

BOLOGNA, Gaetano ; [et al.] – ***Prefabbricazione Edilizia.*** Associazione Italiana Tecnico-Economica del Cemento / Ristampa, 1964.

CÁCERES, Rafael de; FERRER Montserrat (dir.) – *Barcelona: Espai Public*. Barcelona: Ajuntament de Barcelona, 1993.

CANNATÀ, Michele; FERNANDES, Fátima (ed.) – *Moderno Escondido*. Porto: FAUP Publicações, 1997.

COLLINS, Peter – *Splendeur du Béton*. Montréal: Editions Hazan, 1995 (1959).

CORBUSIER, Le – ***El Modulor y Modulor 2.*** Barcelona: Poseidon, 1980 (1953).

COUTINHO, A. de Sousa – *Fabrico e Propriedades do Betão: Volume I e II.* Lisboa: LNEC, 1997 (1973).

DORFLES, Gillo – ***O Devir das Artes.*** Lisboa: Publicações D. Quixote, 1988 (1959).

ELLIOTT, Cecil D. – *Technics and Architecture: the development of materials and systems for buildings.* Cambridge: The MIT Press, 1994 (1992).

FARIA, J. Amorim – *Prefabricação Leve em Edificios: 2.ªs jornadas de construções civis, prefabricação: desenvolvimentos actuais.* Porto: FEUP, 1993.

FERREIRA, Carlos Antero – *Betão Aparente em Portugal*. Lisboa: A.T.I.C., 1972.

FIGUEIRAS, Joaquim A.; LOUREIRO, Luis A.; BASTOS, Ana Maria S. T.; LELLO, José (ed.) – ***Pré-fabricação em Betão: comunicações das 3ªs jornadas de estruturas de betão***. Porto: FEUP Edições, 1999.

FORD, Edward R. – ***The Details of Modern Architecture: volume 2: 1928 to 1988***. Cambridge: The MIT Press, 1998 (1996).

FROMONOT, Françoise – ***Jorn Utzon: architetto della Sydney Opera House.*** Milano: Electa, 1998.

GARCÍA, Alfonso del Aguila – ***Las Tecnologias de la Industrialización de los Edificios de Vivienda: volume 1/2***. Madrid: COAM, 1992.

GIEDION, S. – ***Espacio, Tiempo y Arquitectura***. Madrid: Editorial Dossat, 1982.

GORIA, Carlo; CUSSINO, Luciano; BORASI, Vincenzo – ***Cemento: storia, tecnologia, applicazioni.*** Milano: Fratelli Fabbri Editori, 1976.

HUBERTY, J.M. – ***Durabilité d'Aspect des Bétons Apparents: le vieillissement des façades***. Bruxelles: Centre Scientifique et Technique de la Construction, 1980.

HUMMEL, A. – ***Prontoario del Hormigon***. Barcelona: Editores Técnicos Associados, 1966.

IBÁÑEZ, Carlos Jofré; BIDAGOR, José Ramón Domínguez – ***Color y Textura en Pavimentos de Hormigón***. Madrid: IECA, 1996.

JORGE, Alice; GABRIEL, Maria – ***Técnicas da Gravura Artística***. Lisboa: Livros Horizonte, 2000 (1986).

KIND-BARKAUSKAS, Friedbert; KAUHSEN, Bruno; POLÓNYI, Stefan; BRANDT, Jörg – ***Concrete Construtions Manual***. Basel: Birkhäuser, 2002.

KLOSS, Cesar Luiz – ***Materiais Para Construção Civil***. Curitiba: Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, 1991.

KONCZ, Tihamér – ***Manual de la Construcción Prefabricada: tomo 1.*** Madrid: Editorial Blume, 1968 (1962).

LEATHERBARROW, David ; MOSTAFAVI, Mohsen – ***Surface Architecture***. Cambridge : The MIT Press, 2002.

MACK, Gerhard – ***Herzog & de Meuron: volume 2/3***. Basel: Birkhaüser Verlag, 1996

MACK, Gerhard; LIEBERMANN, Valeria – ***Herzog & de Meuron: Eberswalde Library.*** London: AA Publications, 2000.

MANDOLESI, Enrico – ***Edificacion: el proceso de edificación, la edificación industrializada, la edificación del futuro.*** Barcelona: Ediciones CEAC, 1992 (1978).

MANZINI, Ezio – ***A Matéria Da Invenção***. Lisboa: Centro Português de Design, 1993 (1986).

MASSON, André – ***Tolérances Dimensionnelles des Ouvrages de Construction***. St. Rémy-lès-Chevreuse : CATED, 1999.

MESQUITA, A. – ***Sistema de Construção Industrializada Leve: dh504.*** Lisboa: LNEC, 1997.

MOKK, Laszló – ***Construcciones con Materiales Prefabricados de Hormigón Armado***. Bilbao: Urmo, 1968.

MONTOYA, Pedro Jiménez; MESEGUER, Álvaro García; CABRÉ, Francisco morán – ***Hormigón Armado***. Barcelona: Gustavo Gili, 2004 (2000).

MORRIS, A. E. J. – ***El Hormigón Premoldeado en la Arquitectura***. Barcelona: Gustavo Gili, 1981 (1978).

NISSEN, Henrik – ***Construcción Industrializada y Diseño Modular***. Madrid: Hermann Blume Ediciones, 1976 (1972).

ORDOÑEZ, J. A. Fernandez – ***Prefabricacion: teoría y práctica, seminario de prefabricación: Tomo 1/2.*** Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1974.

P.C.I. – ***Fachadas Prefabricadas de Hormigón***. Madrid: Hermann Blume Ediciones, 1976 (1973).

PICON, Antoine (dir.) – ***L'Art de l'Ingénieur***. Paris : Éditions du Centre Pompidou, 1997.

REIXACH, Fructuós Mañá – ***La Obra Gruesa: unos apuntes de construcción***. Barcelona: Edicions UPC, 2003.

REVEL, Maurice – ***La Prefabricación en la Construcción***. Bilbao: Urmo, 1978.

RICHARDSON, J.G. – ***Precast Concrete Production***. London: The Cement And Concrete Association.

RODRIGUES, Maria Paula M. C.; Almeida, Ivan Ramalho de – ***Adjuvantes Superplastificantes para o Betão: caracteristicas e identificação por espectrofotometria de infravermelhos***. Lisboa: LNEC, 1989.

RUSH, R. – ***Building Systems Integration Handbook***. New York: AIA, 1986.

ANTOS, Silvino G. Pompeu dos – ***Ligações de Estruturas Prefabricadas de Betão***. Lisboa: LNEC, 2000.

SCHMITT, Heinrich; HEENE, Andreas – ***Tratado de Construcción***. Barcelona: Gustavo Gili, 2000 (1993).

SERRANO, J. Salas – ***Elementos de Edificacion: Construcción Industrializada Prefabricación***. Madrid: COAM, 1988.

TOSTÕES, Ana – *Novos Materiais e Construção Moderna*. In BRITO, José Maria Brandão de; HEITOR, Manuel; ROLLO, Maria Fernanda, (eds) - ***Engenho e Obra: uma abordagem à história da Engenharia em Portugal no século XX***. Lisboa: Publicações D. Quixote, 2002.

TURAUD, Jean – ***Construction de Bâtiment***. Paris : CEP/Éditions du Moniteur, 1984 (1981).

VAQUERO, Julio; [et al.] – ***Edificacion com Prefabricados de Hormigon***. Madrid: IECA, 1996.

VILAGUT, F. – ***Prefabricados de Hormigón: tomo I/II***. Barcelona: Gustavo Gili, 1975.

VILLALBA, Antonio Castro – ***Historia de la Construcción Arquitectónica***. Barcelona: Edicions UPC, 1999 (1995).

VISEU, Joaquim C. S. – ***História do Betão Armado em Portugal***. Lisboa: ATIC, 1993.

WALTHER, René – ***Construire en Béton: synthèse pour architectes***. Lausanne : Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1993.

WISSENBACH, Vicente (ed.) – ***Manual Técnico de Pré-Fabricados de Concreto***. São Paulo: ABCI, 1987.

Teses

FARIA, J. Amorim – ***Divisórias Leves Prefabricadas: concepção e avaliação da viabilidade de um sistema realizado com base em madeira e derivados***. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. Porto: FEUP, 1996.

FERREIRA, João Paulo Janeiro Gomes – ***Caracterização Estrutural do Betão Armado com Fibras de Vidro (GRC): aplicação a torres de comunicação.*** Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2001.

INÁCIO, Carla Cristina Dias – ***Para Uma Estratégia Global de Intervenção: o espaço público como elemento de coesão do sistema urbano***. Prova Final de Licenciatura. Porto: Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto, 2000.

JUVANDES, Luis Filipe Pereira – ***Reforço e Reabilitação de Estruturas de Betão Usando Materiais Compósitos de CFRP***. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. Porto: FEUP, 1999.

NUNES, Sandra Conceição Barbosa – ***Betão Auto-Compactável: tecnologia e propriedades***. Tese de Mestrado em Estruturas de Engenharia Civil. Porto: FEUP, 2001.

OLIVEIRA, Luciana Alves de – ***Tecnologia de Painéis Pré-Fabricados Arquitetónicos de Concreto para Emprego em Fachadas de Edificios***. Tese de Mestrado em Engenharia. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de S. Paulo, 2002.

Revistas de Arquitectura e Outros Textos:

ACHE, J.-B. – *Picasso et le Béton*. ***Construction Moderne, Juillet-Aout***. Paris: Centre d'Information de l'Industrie Cimentière. (1974) p. 42-45.

BORGES, Rui; GALVÃO, José – Pré-Fabricação em Betão Branco. ***Pré-Fabricação em Betão: 3as Jornadas de Estruturas de Betão***. Porto: FEUP. (1999) p.111-119.

COUTINHO, Joana Sousa – *Cofragem de Permeabilidade Controlada (CPF): Durabilidade e Acabamento Perfeito em Pré-Fabricação*. ***1º Congresso Nacional da Indústria de Pré-Fabricação em Betão: Volume I: Comunicações ao Congresso***. Lisboa: ANIPC, 2000.

DAVID, José – *Betão Auto-Compactável – notas sobre um conceito que avança*. ***1º Congresso Nacional da Indústria de Pré-Fabricação em Betão: Volume I***: *Comunicações ao Congresso*. Lisboa: ANIPC, 2000.

DAVID, José – *Betão Auto-Compactável: um material novo para a pré-fabricação*. ***Pré-Fabricação em Betão: 3as Jornadas de Estruturas de Betão.*** Porto: FEUP. (1999) p.97-110.

Dossier: Bétons Fibrés. ***Les Cahiers Techniques du Batiment nº 237***. Paris : Groupe Moniteur.(Outubro 2003) p.39-61.

DUVERGER, Aline – *Béton: pierre de palais*. ***Construction Moderne 49***. *Paris: Centre d'Information de l'Industrie Cimentière*. (Março 1987) p.24-29.

DUVERGER, *Aline – Invention et Innovation par le Béton*. ***Construction Moderne 52***. *Paris: Centre d'Information de l'Industrie Cimentière*. (Dezembro 1987) p.13-25.

ESTEVES, Paulo – *Adjuvantes Para Betão na Pré-Fabricação*. ***Pré-Fabricação em Betão: 3as Jornadas de Estruturas de Betão***. Porto: FEUP. (1999) p.121-128.

FERREIRA, António Cruz – *Contributo para a Evolução Estratégica das Firmas de Pré-Fabricação em Portugal. Exemplo do que se Passou em França no Último Decénio.* ***1º Congresso Nacional da Indústria de Pré-Fabricação em Betão: Volume I: Comunicações ao Congresso***. Lisboa: ANIPC, 2000.

GÖRANSSON, Mikael – ***Graphic Art Concrete***. (texto cedido pelo autor).

GRAVE, Luís – Arquitectura e Pré-Fabricação. ***1º Congresso Nacional da Indústria de Pré-Fabricação em Betão: Volume I: Comunicações ao Congresso***. Lisboa: ANIPC, 2000.

GUERRA, Pierantonio – *Bassorilievi, Incisioni, Scritte.* ***Elite numero 17***. *Bergamo* : Techne. (2005) p.14-21.

Guia de Estudante da Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto. Porto: FAUP, 1986.

KENNEDY, Sheila – *La Presencia Material: el retorno de lo real.* ***A+T nº15***. Vitoria-Gasteiz: A+T Ediciones. (2000) p.18-31.

LELLO, José – *Recentes Realizações de Obras de Pré-Fabricação em Betão.* ***1º Congresso Nacional da Indústria de Pré-Fabricação em Betão: Volume I: Comunicações ao Congresso***. Lisboa: ANIPC, 2000.

LOUREIRO, Luís – *Situação Actual e Evolução Previsivel da Pré-Fabricação em Portugal.* ***Pré-Fabricação em Betão: 3as Jornadas de Estruturas de Betão***. Porto: FEUP. (1999) p.13-31.

LÚCIO, Válter J. G. – *Concepção e Dimensionamento de Ligações em Estruturas Pré-Fabricadas para Edifícios.* ***1º Congresso Nacional da Indústria de Pré-Fabricação em Betão: Volume I: Comunicações ao Congresso***. Lisboa: ANIPC, 2000.

MATOS, Anibal Machado – *Pré-Fabricação em Portugal: uma abordagem.* ***1º Congresso Nacional da Indústria de Pré-Fabricação em Betão: volume II: Proceedings***. Lisboa: ANIPC. (2000) p.75-78.

MORI, Laurent – *Coffrage: deux exemples de réalisations en voiles courbes béton.* ***Les Cahiers Techniques du Batiment nº 239***. Paris : Groupe Moniteur. (Dezembro 2003) p.26-29.

MOZAS, Javier – *4 Maneras de Ser Sensible.* ***A+T nº14***. Vitoria-Gasteiz: A+T Ediciones. (1999) p.2-9.

NUNES, Angela – *Betão "à Vista".* ***Engenharia e Vida nº 10***. Lisboa: Loja da Imagem. (Fevereiro 2005) p.38-43.

NUNES, Angela – *Betões de Elevado Desempenho Arquitectónico.* ***RILEM: Seminário Novos Desenvolvimentos do Betão.*** Comunicação ao congresso.

NUNES, Angela – *O Futuro do Betão: as potencialidades por descobrir.* ***1º Seminário Avançado de Arquitectura em Betão***. Lisboa: ATIC, 2002.

NUNES, Angela – *Pavimentos de Betão em Espaços Urbanos: funcionalidade durabilidade e a contribuição para uma requalificação ambiental.* ***Estrada 2002: 2º Congresso Rodoviário Português***. Comunicação ao congresso.

PARENT, Claude – *Le Nouvel Âge du Béton: l'architecture de composants.* ***Construction Moderne 32***. *Paris: Centre d'Information de l'Industrie Cimentière*. (Dezembro 1982) p.9-11.

PINTO, a. Reaes – *A Pré- Fabricação na Indústria da Construção.* ***1º Congresso Nacional da Indústria de Pré-Fabricação em Betão: Volume I: Comunicações ao Congresso***. Lisboa: ANIPC, 2000.

RUFF, Thomas – *Diseño del Alçado.* ***A+T nº14***. Vitoria-Gasteiz: A+T Ediciones. (1999) p.16-17.

RYAN, Raymund – Herzog & de Meuron: *lo general en detalle.* ***A+T nº14***. Vitoria-Gasteiz: A+T Ediciones. (1999) p.10-15,18-49.

SAMPAIO, Carlos – *Prefabricação Arquitectónica.* ***Pré-Fabricação em Betão: 3as Jornadas de Estruturas de Betão***. Porto: FEUP. (1999) p.197-210.

SAMPAIO, Joaquim – *Uma Nova Tecnologia de betões com Aplicação na Pré-Fabricação.* ***1º Congresso Nacional da Indústria de Pré-Fabricação em Betão: volume II: Proceedings***. Lisboa: ANIPC. (2000) p.97-98.

SANTIAGO, Abel – *50 Anos de Pré-Fabricação. História e Perspectivas.* ***1º Congresso Nacional da Indústria de Pré-Fabricação em Betão: Volume I.*** Comunicações ao Congresso. Lisboa: ANIPC, 2000.

SANTIAGO, Abel – *Pré-Fabricação Aberta e Pré-Fabricação Fechada.* ***Pré-Fabricação em Betão: 3as Jornadas de Estruturas de Betão***. Porto: FEUP. (1999) p.67-71.

Tectonica nº3: "in situ". Madrid: ATC ediciones. (1995).

Tectonica nº5: prefabricado. Madrid: ATC ediciones. (1995).

TORRAS, Alberto Virella – *Algumas Notas sobre a Preparação de Betões Vistos.* ***Binário nº 161 (separata)***. (Fevereiro 1972).

TRIGO, José A. Teixeira – *Contribuição da Pré-Fabricação de Betão para a Garantia da Qualidade das Obras.* ***1º Congresso Nacional da Indústria de Pré-Fabricação em Betão: Volume I***. Comunicações ao Congresso. Lisboa: ANIPC, 2000.

VIEGAS, Barros; FINZI, Filiberto – *O Futuro da Pré-Fabricação com o Uso de Compósitos.* ***Pré-Fabricação em Betão: 3as Jornadas de Estruturas de Betão***. Porto: FEUP. (1999) p.169-175.

VIEIRA, Alberto Tomás – *Génese, Cultura e Futuro da Pré-Fabricação.* ***1º Congresso Nacional da Indústria de Pré-Fabricação em Betão: Volume I: Comunicações ao Congresso***. Lisboa: ANIPC, 2000.

Catálogos e Informação Técnica

Cimbéton (Centre d'Information sur le Ciment et ses Applications) – ***Guide Pour l'Utilisation d'Élèments en Béton Architectónique dans les Projects d'Architecture***. (Maio 2001).

GRACE – PIERI, SA – ***Serilith Photo Engraved Concrete***.

SECIL (Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A.) – ***Elementos Para a Preparação de Clausúlas Técnicas Especiais de cadernos de Encargos de Obras em Betão Branco***.

SECIL (Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A.) – ***Betão Branco: prescrição e utilização***.

SECIL (Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A.) – ***Cimento Branco: Estrutura e Formas***.

SECIL (Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A.) – ***Cimento: um pó que resiste ao tempo***. (Setembro 2004).

Documentos Electrónicos

ALMEIDA, Maria Rita Pais Ramos Abreu de – ***Serigrafia em Betão***. [em linha]
<
URL:http://www.construlink.com/homepage/2003_construlinkpress/monografias.php>

Architectural Precast Concrete Finishes Guide. [em linha]
< URL:http://www.archprecast.org>

CIVINDINO, Hervé – ***Les Qualités du Béton au Service du Patrimoine Urbain***. Construction Moderne nº116. [em linha]
<URL:http://www.infociments.fr/scripts>

DONNAES, Phillippe – ***Photoengraving on Concrete***. [em linha]
< URL:http://www.concrete.org/tempComDocs/333-98461/CI2210Donnaes.pdf>

FRAZER, Lance – ***Titanium Dioxide: Environmental White Knight?***. [em linha]
< URL:http://ehp.niehs.nih.gov/docs/2001/109-4/innovations.html>

GÖRANSSON, Mikael – ***Retarderbased Photogravure on Concrete***. [em linha]
< URL:http://www.mikaelgoransson.com>

MOELLER, Martin – ***Concrete: a history of experimentation***. [em linha]
< URL:http://www.nbm.org/blueprints>

STRATI, Rosy – ***Modulo e Prefabbricazione: storia e attualitá degli spazi modulari***. [em linha]
< URL:http://www.materia.it/materia>

VAVEL, Antoine – ***Le Secteur du Bâtiment Adopte les Nouveaux Bétons***. Construction Moderne nº114. [em linha]
< URL:http://www.infociments.fr/scripts>

Endereços Electrónicos:

Centro Português de Serigrafia

<URL:http://www.cps.pt>

GRACE Construction Products

<URL:http://www.graceconstruction.com>

HEBAU

<URL:http://www.hebau.de>

Intaglio Composites

<URL:http://www.intagliocomposites.com>

LiTraCon

< URL:http://www.litracon.hu>

Mitsubishi Materials Corporation

< URL:http://www.mmc.co.jp>

Reckli

< URL:http://www.reckli.de>

American Concrete Institute

< URL:http://www.aci-int.org>

Architectural Precast Association

< URL:http://www.archprecast.org>

British Cement Association

< URL:http://www.bca.org.uk>

Decorative Concrete Network
< URL:http://www.decorative-concrete.net>

National Precast Concrete Association
< URL:http://www.precast.org>

Precast/Prestressed Concrete Institute
< URL:http://www.pci.org>

ANEXO I

ANEXO II